ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
РАСТЕНИЙ ИМЕНИ Н.И. ВАВИЛОВА (ВИР)

ТРУДЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ, ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ, том 185

выпуск 3

(основаны Р. Э. Регелем в 1908 г.)

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2024

PROCEEDINGS ON APPLIED BOTANY, GENETICS AND BREEDING, vol. 185

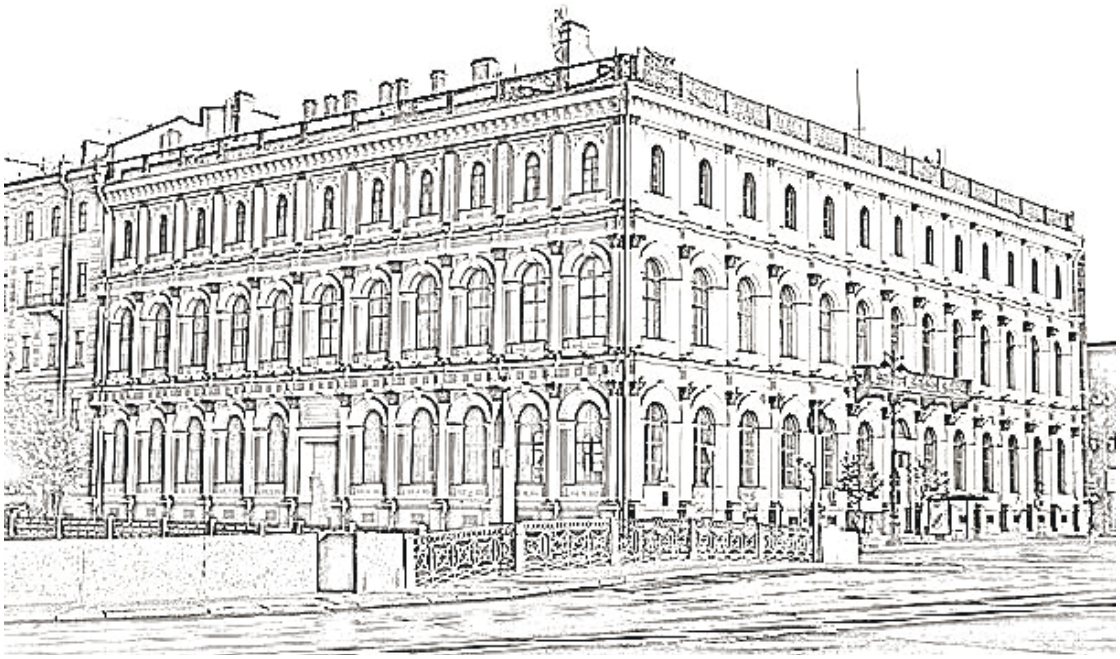
issue 3

(founded by Robert Regel in 1908)

ST. PETERSBURG
2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова (ВИР)

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal Research Center
the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)



ISSN 2227-8834 (Print)
ISSN 2619-0982 (Online)

Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции

2024 Том 185 выпуск 3

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3
https://elpub.vir.nw.ru

Научный рецензируемый журнал
Издается с 1908 г.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 - 57455 от 27.03.2014
Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова»

Главный редактор
Хлесткина Елена Константиновна, д-р биол. наук, профессор РАН (Россия)

Заместители главного редактора
Вишнякова Маргарита Афанасьевна, д-р биол. наук (Россия)
Лоскутов Игорь Градиславович, д-р биол. наук (Россия)
Митрофанова Ольга Павловна, д-р биол. наук (Россия)

Ответственный секретарь
Шипилина Лилия Юрьевна, канд. биол. наук (Россия)

Редакционная коллегия
Анисимова Ирина Николаевна, д-р биол. наук (Россия)
Брач Нина Борисовна, д-р биол. наук (Россия)
Бурляева Марина Олеговна, канд. биол. наук (Россия)
Гавриленко Татьяна Андреевна, д-р биол. наук (Россия)
Голохваст Кирилл Сергеевич, д-р биол. наук, профессор РАН, чл.-кор. РАО (Россия)
Горина Валентина Милентьевна, д-р с.-х. наук (Россия)
Добровольская Оксана Борисовна, д-р биол. наук (Россия)
Дорофеев Владимир Иванович, д-р биол. наук (Россия)
Думачева Елена Владимировна, д-р биол. наук (Россия)
Зотеева Надежда Мубаровна, д-р биол. наук (Россия)
Зуев Евгений Валерьевич, канд. с.-х. наук (Россия)
Корзун Виктор Николаевич, д-р биол. наук (Германия)
Лоскутов Игорь Градиславович, д-р биол. наук (Россия)
Матвеева Татьяна Валерьевна, д-р биол. наук (Россия)
Медведев Сергей Семенович, д-р биол. наук (Россия)
Мироненко Нина Васильевна, д-р биол. наук (Россия)
Митрофанова Ирина Вячеславовна, д-р биол. наук, чл.-кор. РАН (Россия)
Пороховинова Елизавета Александровна, д-р биол. наук (Россия)
Радченко Евгений Евгеньевич, д-р биол. наук (Россия)
Рашаль Исаак, д-р биол. наук, профессор (Латвия)
Родионов Александр Викентьевич, д-р биол. наук (Россия)
Силантьева Марина Михайловна, д-р биол. наук (Россия)
Соколова Диана Викторовна, канд. биол. наук (Россия)
Солодухина Ольга Владимировна, д-р биол. наук (Россия)
Тихонова Надежда Геннадьевна, канд. биол. наук (Россия)
Ткаченко Кирилл Гавриилович, д-р биол. наук (Россия)
Туруспеков Ерлан Кенесбекович, канд. биол. наук, профессор (Казахстан)
Ухатова Юлия Васильевна, канд. биол. наук (Россия)
Филипенко Галина Ивановна, канд. с.-х. наук (Россия)
Хатефов Эдуард Балилович, д-р биол. наук (Россия)
Чухина Ирена Георгиевна, канд. биол. наук (Россия)

Редакционный совет
Афанасенко Ольга Сильвестровна, д-р биол. наук, академик РАН (Россия)
Баталова Галина Аркадьевна, д-р с.-х. наук, академик РАН (Россия)
Бервилле Андре, д-р (Франция)
Бёрнер Андреас, д-р (Германия)
Беспалова Людмила Андреевна, д-р с.-х. наук, академик РАН (Россия)
Вишнякова Маргарита Афанасьевна, д-р биол. наук (Россия)
Голубец Войтех, д-р (Чехия)
Гончаров Николай Петрович, д-р биол. наук, академик РАН (Россия)
Дидерихсен Аксель, д-р (Канада)
Дука Мария Васильевна, д-р биол. наук, профессор, академик АН Молдовы (Молдова)
Еремин Геннадий Викторович, д-р с.-х. наук, академик РАН (Россия)
Кильчевский Александр Владимирович, д-р биол. наук, профессор, академик НАН Беларуси (Беларусь)
Левитин Марк Михайлович – д-р биол. наук, профессор, академик РАН (Россия)
Моргунов Алексей Иванович, д-р (Турция)
Муминджанов Хафиз Абдувахобович, д-р биол. наук, профессор (Турция, Таджикистан)
Тихонович Игорь Анатольевич, д-р биол. наук, академик РАН (Россия)
Фризен Николай Вальтерович, д-р биол. наук, профессор (Германия)
Хаммер Карл, д-р, профессор (Германия)

© Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 2024

ISSN 2227-8834 (Print)
ISSN 2619-0982 (Online)

Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding

2024 Volume 185 issue 3

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3
https://elpub.vir.nw.ru

Scientific Peer-Reviewed Journal
Founded in 1908

Founder: Federal Research Center
the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources

Editor-in-chief
Elena K. Khlestkina, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Russia

Deputy editor-in-chief
Margarita A. Vishnyakova, Dr. Sci. (Biology), Russia
Igor G. Loskutov, Dr. Sci. (Biology), Russia
Olga P. Mitrofanova, Dr. Sci. (Biology), Russia

Executive secretary
Lilia Yu. Shipilina, Cand. Sci. (Biology), Russia

Editorial board
Irina N. Anisimova, Dr. Sci. (Biology), Russia
Nina B. Brutch, Dr. Sci. (Biology), Russia
Marina O. Burlyaeva, Cand. Sci. (Biology), Russia
Irena G. Chukhina, Cand. Sci. (Biology), Russia
Oxana B. Dobrovolskaya, Dr. Sci. (Biology), Russia
Vladimir I. Dorofeev, Dr. Sci. (Biology), Russia
Elena V. Dumacheva, Dr. Sci. (Biology), Russia
Galina I. Filipenko, Cand. Sci. (Agriculture), Russia
Tatjana A. Gavrilenko, Dr. Sci. (Biology), Russia
Kirill S. Golokhvast, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Corr. Member of the RAE, Russia
Valentina M. Gorina, Dr. Sci. (Agriculture), Russia
Eduard B. Khatefov, Dr. Sci. (Biology), Russia
Viktor N. Korzun, Dr. Sci. (Biology), Germany
Igor G. Loskutov, Dr. Sci. (Biology), Russia
Tatyana V. Matveeva, Dr. Sci. (Biology), Russia
Sergey S. Medvedev, Dr. Sci. (Biology), Russia
Nina V. *Mironenko*, Dr. Sci. (Biology), Russia
Irina V. Mitrofanova, Dr. Sci. (Biology), Corr. Member of the RAS, Russia
Elizaveta A. Porokhovinova, Dr. Sci. (Biology), Russia
Evgeny E. Radchenko, Dr. Sci. (Biology), Russia
Īzaks Rašals, Dr. Sci. (Biology), Professor, Latvia
Aleksandr V. Rodionov, Dr. Sci. (Biology), Russia
Marina M. Silantyeva, Dr. Sci. (Biology), Russia
Diana V. Sokolova, Cand. Sci. (Biology), Russia
Ol'ga V. Soloduhina, Dr. Sci. (Biology), Russia
Nadezhda G. Tikhonova, Cand. Sci. (Biology), Russia
Kirill G. Tkachenko, Dr. Sci. (Biology), Russia
Erlan K. Turuspekov, Cand. Sci. (Biology), Professor, Kazakhstan
Yulia V. Ukhatova, Cand. Sci. (Biology), Russia
Nadezhda M. Zoteeva, Cand. Sci. (Biology), Russia
Evgeny V. Zuev, Cand. Sci. (Agriculture), Russia

Editorial council
Olga S. Afanasenko, Dr. Sci. (Biology), Full Member (Academician) of the RAS, Russia
Galina A. Batalova, Dr. Sci. (Agriculture), Full Member (Academician) of the RAS, Russia
Andre Jean Berville, Dr., France
Lyudmila A. Bespalova, Dr. Sci. (Agriculture), Full Member (Academician) of the RAS, Russia
Andreas Börner, Dr., Germany
Axel Diederichsen, Dr., Canada
Maria V. Duca, Dr. Sci. (Biology), Professor, Full Member (Academician) of the Academy of Sciences of Moldova, Republic of Moldova
Gennady V. Eremin, Dr. Sci. (Agriculture), Full Member (Academician) of the RAS, Russia
Nikolai Friesen, Dr. habil., Professor, Germany
Nikolay P. Goncharov, Dr. Sci. (Biology), Full Member (Academician) of the RAS, Russia
Karl Hammer, Dr., Professor, Germany
Vojtech Holubec (Vojtěch Holubec), Dr., Czech Republic
Alexander V. Kilchevsky, Dr. Sci. (Biology), Professor, Full Member (Academician) of the National Academy of Sciences of Belarus, Republic of Belarus
Mark M. Levitin, Dr. Sci. (Biology), Full Member (Academician) of the RAS, Russia
Alexey I. Morgounov, Dr., Turkey
Hafiz Muminjanov, Dr. Sci. (Biology), Professor, Turkey, Tajikistan
Igor A. Tikhonovich, Dr. Sci. (Biology), Full Member (Academician) of the RAS, Russia
Margarita A. Vishnyakova, Dr. Sci. (Biology), Russia

© Federal Research Center
the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 2024

УДК 58:575:631.522/.524:633/635:632(066)

Ответственные редакторы выпуска
Хлесткина Елена Константиновна, д-р биол. наук, профессор РАН (Россия)
Соколова Елена Александровна, д-р биол. наук (Россия)
Редактор-переводчик
Крылов Антон Георгиевич (Россия)

Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции / Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2024. Т. 185, вып. 3. 278 с.

Разработан протокол клонального микроразмножения *in vitro* отборных форм *Malus niedzwetzkyana* Dieck с высокой интродукционной устойчивостью в городских условиях. Изложены результаты интродукции и перспективы использования представителей рода *Juglans* L. в центральной России. Показаны возможности использования *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. для расширения генетического разнообразия яровой мягкой пшеницы. Определено влияние сроков посева на урожайность различающихся по скороспелости образцов сои (*Glycine max* (L.) Merr.) в климатических условиях Иркутской области. Отработан оптимальный состав питательных сред для культивирования и сохранения растений-регенерантов фундука. Получены калибровочные модели для экспресс-оценки хозяйственно ценных показателей в зерне озимых и яровых форм тритикале с помощью инфракрасной спектроскопии. Определена активность фотосинтетических пигментов и антиоксидантной системы у подсолнечника в условиях стресса от засухи. Проведена оценка коллекционных образцов ярового ячменя белорусской селекции в Северном Зауралье. Исследован биохимический состав образцов арахиса коллекции ВИР. В условиях степной зоны Краснодарского края проведен сравнительный анализ коллекционных образцов овса различных экологических групп. Охарактеризованы сорта черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center (Эстония) в условиях Северо-Запада России. Установлены особенности наследования карликового фенотипа у гибридов от скрещивания линий подсолнечника, различающихся по аллелям локуса *Rht1*. Проанализирована изменчивость соцветий в пределах сортов гречихи (*Fagopyrum esculentum* Moench) разных морфологических типов с целью выяснения механизмов, лежащих в ее основе. Рассмотрена зависимость урожайности линий поздних поколений от продуктивности колоса исходных гибридных популяций яровой мягкой пшеницы. Дана оценка содержания крахмала в зерне и реакции на М- и С-типы ЦМС высококрахмалистых гибридов кукурузы. Показана эффективность применения природных и синтетических ингибиторов вирусов в оздоровлении картофеля (*Solanum tuberosum* L.). Оптимизирована методика выделения ДНК для изучения генетического разнообразия эфиромасличных роз (*Rosa* L.). Восстановлена архитектоника колоса древнего ячменя из раскопа Усвятского городища XII века. Обнаружены образцы черной смородины секции *Eucoreosma* (Grossulariaceae) в центральной части юга Приморского края (Российская Федерация). На основании гербарных сборов, литературных и собственных данных изучены история появления и распространение 6 видов и 1 подвида рода *Helianthus* L. на Дальнем Востоке России и в Восточной Азии. Проанализирована устойчивость сортов и образцов ячменя к патотипам возбудителя темно-бурой пятнистости. Обсуждается межвидовая гибридизация и клеточная инженерия салата (*Lactuca* L.). Опубликован выборочный список «Каталогов мировой коллекции ВИР» по овощным и бахчевым культурам за 1962–2023 гг.

Для ресурсоведов, ботаников, генетиков, селекционеров, преподавателей вузов биологического и сельскохозяйственного профиля.

ISSN 2227-8834 (Print)
ISSN 2619-0982 (Online)

© Федеральный исследовательский центр Всероссийский
институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 2024

Editors in charge of this issue
Elena K. Khlestkina, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Russia
Elena A. Sokolova, Dr. Sci. (Biology), Russia
Editor/Translator
Anton G. Krylov, Russia

Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding / N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. St. Petersburg : VIR, 2024. Vol. 185, iss. 3. 278 p.

A protocol has been developed for *in vitro* clonal micropropagation of *Malus niedzwetzkyana* Dieck forms selected for their high resilience during introduction into urban conditions. Introduction results and utilization prospects are discussed for *Juglans* L. in Central Russia. The possibilities of using *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. to expand the genetic diversity of spring bread wheat are shown. The effect of sowing dates on the yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) accessions differing in maturity schedules has been assessed under the climate conditions of Irkutsk Province. An optimum composition of nutrient media has been selected for cultivation and conservation of regenerated hazelnut plants. Calibration models have been designed to make rapid assessment of major agronomic indicators in winter and spring triticale grain using infrared spectroscopy. The activity of photosynthetic pigments and the antioxidant system has been analyzed in sunflower under drought stress. Spring barley cultivars released in Belarus have been evaluated under the environmental conditions of the Northern Trans-Urals. The biochemical composition of peanut accessions from the VIR collection has been studied. Oat accessions from different ecological groups have undergone a comparative analysis in the steppe environments of Krasnodar Territory. Black currant cultivars developed at the Polli Horticultural Research Center (Estonia) have been tested under the conditions of Northwest Russia. The inheritance pattern has been clarified for the dwarf phenotype in hybrids from crosses among sunflower lines differing in alleles of the *Rht1* locus. Inflorescence size variability has been analyzed in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) cultivars of various origin to find out the mechanisms underpinning this phenomenon. For spring bread wheat, the dependence of the yield in late-generation lines on the spike productivity in original segregating populations has been considered. Grain starch content and responses to CMS-S and CMS-C have been assessed in high-starch maize hybrids. Efficacy of natural and synthetic inhibitors in the elimination of viruses in potato (*Solanum tuberosum* L.) has been demonstrated. The DNA isolation procedure has been optimized for assessing the genetic diversity of essential oil roses (*Rosa* L.). The spike architectonics in ancient barley excavated at the twelfth-century settlement of Usvyaty has been restored. Black currants from sect. *Eucoreosma* (Grossulariaceae) have been discovered in the central part of southern Primorsky Territory, Russia. Herbarium collections, published sources, and own data have been used to study the emergence and distribution of 6 species and 1 subspecies of *Helianthus* L. in the Russian Far East and in East Asia. Resistance of barley cultivars and accessions to pathotypes of the spot blotch causative agent has been studied. Interspecific hybridization and cell engineering of lettuce (*Lactuca* L.) are reviewed. A selective list of the Catalogues of the VIR Global Collection on vegetables and cucurbits published in 1962–2023 is presented.

Addressed to genetic resources experts, geneticists, plant breeders and lecturers of biological and agricultural universities and colleges.

ISSN 2227-8834 (Print)
ISSN 2619-0982 (Online)

© Federal Research Center
the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

МОБИЛИЗАЦИЯ И СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Беланова А.П., Зайцева Ю.Г., Лях Е.М.
Клональное микроразмножение *in vitro* отборных форм *Malus niedzwetzkyana* Dieck с высокой интродукционной устойчивостью в городских условиях 9

Емельянова О.Ю., Цой М.Ф., Масалова Л.И.
Аспекты интродукции и перспективы использования представителей рода *Juglans* L. в центральной России 18

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Дружин А.Е., Сибикеев С.Н., Андреева Л.В.
Использование вида *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. для расширения генетического разнообразия яровой мягкой пшеницы 27

Катышева Н.Б., Поморцев А.В., Дорофеев Н.В., Зорина С.Ю., Соколова Л.Г., Журавкова А.С., Букин Ю.С., Катышев А.И.
Влияние сроков посева на урожайность различающихся по скороспелости образцов сои (*Glycine max* (L.) Merr.) в климатических условиях Иркутской области 38

Красинская Т.А.
Активность геммогенеза растений-регенерантов сорта фундука ‘Академик Яблоков’ и антибиотикотерапия для элиминации бактериальной инфекции в условиях *in vitro* 50

Попов В.С., Конькова Н.Г., Шеленга Т.В., Хорева В.И., Кибкало И.А., Гаджимагомедова М.Х., Суварян Л.Г.
Экспресс-оценка основных хозяйственно значимых показателей в зерне озимых и яровых форм тритикале с помощью инфракрасной спектроскопии 61

Федорова Д.Г., Назарова Н.М., Укенов Б.С.
Активность фотосинтетических пигментов и антиоксидантной системы у подсолнечника в условиях стресса от засухи 71

Фомина М.Н., Иванова Ю.С., Брагина М.В., Ковалева О.Н.
Оценка коллекционных образцов ярового ячменя белорусской селекции в условиях Северного Зауралья 78

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Бемова В.Д., Шеленга Т.В., Асфандиярова М.Ш., Якушева Т.В., Кишлян Н.В.
Изучение биохимического состава образцов арахиса коллекции ВИР 94

Войцуцкая Н.П., Лоскутов И.Г., Блинова Е.В., Новикова Л.Ю.
Изучение коллекционных образцов овса различных экологических групп в условиях степной зоны Краснодарского края 105

Тихонова О.А., Попов В.С.
Сорта черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center (Эстония) в условиях Северо-Запада России 120

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Анисимова И.Н., Хафизова Г.В., Макарова Л.Г., Алпатьева Н.В., Рязанова М.К., Борисенко О.М., Гаврилова В.А.
Особенности наследования карликового фенотипа у гибридов от скрещивания линий подсолнечника, различающихся по аллелям локуса *Rht1* 135

Фесенко А.Н., Фесенко И.Н., Бирюкова О.В.
Поддержание изменчивости по размеру соцветия у сортов гречихи обыкновенной (*Fagopyrum esculentum* Moench) различного происхождения: явление и его возможные причины 147

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Лепехов С.Б.
Зависимость урожайности линий поздних поколений от продуктивности колоса исходных гибридных популяций яровой мягкой пшеницы 157

Фирсова М.Р., Шомахов Б.Р., Кушхова Р.С., Хаширова З.Т., Кудаев Р.А., Гяургиев А.Х., Аппаев С.П., Кагермазов А.М., Хачидогов А.В., Бузуртанов А.И., Бадургова К.Ш., Базгиев М.А., Гольдштейн В.Г., Хорева В.И., Хатефов Э.Б.
Оценка содержания крахмала в зерне и реакции на М- и С-типы ЦМС высококрахмалистых гибридов кукурузы 166

Шищенко Е.В., Ким И.В., Барсукова Е.Н., Ермак И.М., Кравченко А.О., Клыков А.Г.
Эффективность применения природных и синтетических ингибиторов вирусов в оздоровлении картофеля (*Solanum tuberosum* L.) 180

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ

Сейтаджиева С.Б., Гучетль С.З., Дидович С.В., Городняя Е.В.
Оптимизация методики выделения ДНК для изучения генетического разнообразия эфиромасличных роз (*Rosa* L.) 191

Семилет Т.В., Смирнова Н.В., Швачко Н.А., Ковалева О.Н., Хлесткина Е.К.
Восстановление архитектоники колоса древнего ячменя из раскопа Усвятского городища XII века 199

Федина Л.А., Полежаева М.А., Юнусова Д.Р., Колдаева М.Н., Сабитов А.Ш.
Находка смородины секции *Eucoreosma* (Grossulariaceae) в центральной части юга Приморского края (Российская Федерация) 210

СИСТЕМАТИКА, ФИЛОГЕНИЯ И ГЕОГРАФИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Лесик Е.В., Крещенок И.А., Таловина Г.В.
Род *Helianthus* L. на Дальнем Востоке России и в Восточной Азии 224

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Лашина Н.М., Афанасенко О.С.
Устойчивость сортов и образцов ячменя к патотипам возбудителя темно-бурой пятнистости 239

ОБЗОРЫ

Загнухина Н.А., Курина А.Б.
Межвидовая гибридизация и клеточная инженерия салата (*Lactuca* L.) 256

Выборочный список «Каталогов мировой коллекции ВИР» по овощным и бахчевым культурам за 1962–2023 гг. 265

CONTENTS

MOBILIZATION AND CONSERVATION OF THE GENETIC DIVERSITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Belanova A.P., Zaytseva Yu.G., Lyakh E.M.
In vitro clonal micropropagation of selected *Malus niedzwetzkyana* Dieck forms demonstrating high resilience when introduced into urban environments 9

Emelyanova O.Yu., Tsoy M.F., Masalova L.I.
Aspects of introduction and prospects for the use of *Juglans* L. representatives in Central Russia 18

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Druzhin A.E., Sibikeev S.N., Andreeva L.V.
The use of the species T*riticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. to expand the genetic diversity of spring bread wheat 27

Katysheva N.B., Pomortsev A.V., Dorofeev N.V., Zorina S.Yu., Sokolova L.G., Zhuravkova A.S., Bukin Yu.S., Katyshev A.I.
The effect of sowing dates on the yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) accessions differing in maturity schedules under the climate conditions of Irkutsk Province 38

Krasinskaya T.A.
Activity of gemmogenesis in regenerated plants of hazelnut cv. 'Akademyk Yablokov' and antibiotic therapy for elimination of bacterial contamination *in vitro* 50

Popov V.S., Konkova N.G., Shelenga T.V., Khoreva V.I., Kibkalo I.A., Gadjimagomedova M.Kh., Suvaryan L.G.
Rapid assessment of main agronomic indicators in the grain of winter and spring forms of triticale using infrared spectroscopy 61

Fedorova D.G., Nazarova N.M., Ukenov B.S.
Activity of photosynthetic pigments and the antioxidant system in sunflower under drought stress 71

Fomina M.N., Ivanova Yu.S., Bragina M.V., Kovaleva O.N.
Evaluation of spring barley cultivars released in Belarus under the environmental conditions of the Northern Trans-Urals 78

COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

Bemova V.D., Shelenga T.V., Asfandiyarova M.Sh., Yakusheva T.V., Kishlyan N.V.
Studying the biochemical composition of peanut accessions from the VIR collection 94

Voytsutskaya N.P., Loskutov I.G., Blinova E.V., Novikova L.Yu.
Evaluation of oat accessions from different ecological groups in the steppe environments of Krasnodar Territory 105

Tikhonova O.A., Popov V.S.
Black currant cultivars, developed at the Polli Horticultural Research Center (Estonia), in Northwest Russia 120

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Anisimova I.N., Khafizova G.V., Makarova L.G., Alpatieva N.V., Ryazanova M.K., Borisenko O.M., Gavrilova V.A.
The inheritance pattern for the dwarf phenotype in hybrids from crosses among sunflower lines differing in alleles of the *Rht1* locus 135

Fesenko A.N., Fesenko I.N., Biryukova O.V.
Maintenance of inflorescence size variability within common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) cultivars of various origin: the phenomenon and its possible causes 147

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Lepekhov S.B.
Dependence of the yield in late-generation lines on the spike productivity in original segregating populations of spring bread wheat 157

Firsova M.R., Shomakhov B.R., Kushkhova R.S., Khashirova Z.T., Kudaev R.A., Gyaurgiev A.Kh., Appaev S.P., Kagermazov A.M., Khachidogov A.V., Buzurtanov A.I., Badurgova K.Sh., Bazgiev M.A., Goldstein V.G., Khoreva V.I., Khatefov E.B.
Assessment of grain starch content and responses to CMS-S and CMS-C in high-starch maize hybrids 166

Shishchenko E.V., Kim I.V., Barsukova E.N., Yermak I.M., Kravchenko A.O., Klykov A.G.
Efficacy of natural and synthetic inhibitors in the elimination of viruses in potato (*Solanum tuberosum* L.) 180

IDENTIFICATION OF THE DIVERSITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES FOR SOLVING FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS

Seitadzhieva S.B., Guchetl S.Z., Didovich S.V., Gorodnyaya E.V.
Optimization of the DNA isolation procedure for assessing the genetic diversity of essential oil roses (*Rosa* L.) 191

Semilet T.V., Smirnova N.V., Shvachko N.A., Kovaleva O.N., Khlestkina E.K.
Restoration of the spike architectonics in ancient barley excavated at the twelfth-century settlement of Usvyaty 199

Fedina L.A., Polezhaeva M.A., Iunusova D.R., Koldaeva M.N., Sabitov A.Sh.
The finding of black currants from sect. *Eucoreosma* (Grossulariaceae) in the central part of southern Primorsky Territory, Russia 210

SYSTEMATICS, PHYLOGENY AND GEOGRAPHY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Lesik E.V., Kreshchenok I.A., Talovina G.V.
The genus *Helianthus* L. in the Russian Far East and in East Asia 224

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Lashina N.M., Afanasenko O.S.
Resistance of barley cultivars and accessions to pathotypes of the spot blotch causative agent 239

SURVEYS

Zagnukhina N.A., Kurina A.B.
Interspecific hybridization and cell engineering of lettuce (*Lactuca* L.) 256

Selective list of the Catalogues of the VIR Global Collection on vegetables and cucurbits published in 1962–2023.....265

МОБИЛИЗАЦИЯ И СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 582.688.3:58.084.1:58.085.2
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-9-17

CC BY

Клональное микроразмножение отборных форм *Malus niedzwetzkyana* Dieck с высокой интродукционной устойчивостью в городских условиях

А. П. Беланова[1, 2], Ю. Г. Зайцева[1], Е. М. Лях[1]

[1] *Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия*

[2] *Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*

Автор, ответственный за переписку: Елена Михайловна Лях, llyakh@rambler.ru

Актуальность. В настоящее время использование междисциплинарного подхода, основанного на сочетании традиционных интродукционных методов и приемах клонального микроразмножения, позволяет решить одну из ключевых задач интродукции по созданию биоресурсных коллекций, состоящих из отборных экземпляров растений с ценными хозяйственными признаками, устойчивых к неблагоприятным условиям городской среды.
Материалы и методы. Проведенное интродукционное исследование выявило семь экземпляров *Malus niedzwetzkyana* Dieck, устойчивых к урбанизированным условиям, с высокими показателями развития кроны и долговечности. Данные растения послужили исходным материалом для разработки протокола клонального микроразмножения и сохранения *in vitro* отборных форм этого вида.
Результаты. Установлено, что у *M. niedzwetzkyana* наиболее благоприятный срок взятия растительного материала для введения в культуру *in vitro* – начало периода активного роста вегетативных побегов после цветения. Самый оптимальный способ стерилизации растительного материала – ступенчатый режим с использованием спирта, гипохлорита натрия и нитрата серебра, позволяющий получить от 50 до 70% стерильных эксплантов и максимальный процент пролиферации меристем. На этапе микроклонального размножения сочетание 0,8 мг/л бензоаминапурина (БАП) с 0,14 мг/л индолил-3-масляной кислоты (ИМК) позволило существенно повысить коэффициент размножения (в среднем до 5,3 ± 0,7) и улучшить морфометрические показатели микропобегов; максимальная частота пролиферации побегов составила 100%. Выход адаптированных к условиям *ex vitro* побегов составил 90%.
Заключение. Разработанный протокол клонального микроразмножения позволил ввести в культуру *in vitro* и размножить отборные формы *M. niedzwetzkyana* с целью создания ресурсной базы родового комплекса *Malus* Mill. для дальнейших фундаментальных и прикладных исследований.

Ключевые слова: *Malus* Mill., размножение *in vitro*, пазушные меристемы, интродукция, городское озеленение

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно проектам АААА-А21-121011290027-6 и АААА21-121011290025-2.
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Беланова А.П., Зайцева Ю.Г., Лях Е.М. Клональное микроразмножение *in vitro* отборных форм *Malus niedzwetzkyana* Dieck с высокой интродукционной устойчивостью в городских условиях. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):9-17. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-9-17

© Беланова А.П., Зайцева Ю.Г., Лях Е.М., 2024

MOBILIZATION AND CONSERVATION OF THE GENETIC DIVERSITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-9-17

In vitro clonal micropropagation of selected *Malus niedzwetzkyana* Dieck forms demonstrating high resilience when introduced into urban environments

Anastasia P. Belanova[1, 2], Yulianna G. Zaytseva[1], Elena M. Lyakh[1]

[1] *Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

[2] *Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia*

Corresponding author: Elena M. Lyakh, llyakh@rambler.ru

Background. Currently, the use of an interdisciplinary approach based on a combination of traditional introduction methods and clonal micropropagation techniques makes it possible to solve one of the key problems of introduction – the establishment of bioresource collections consisting of selected plant accessions with valuable agronomic traits and resistance to unfavorable urban environments.
Materials and methods. A plant introduction study resulted in identifying seven specimens of *Malus niedzwetzkyana* Dieck with resilience to urban environments, high rate of crown development, and longevity. They served as source material for the development of a clonal propagation protocol and *in vitro* preservation of selected genotypes of this species.
Results. It was shown for *M. niedzwetzkyana* that the most favorable time for taking its plant material for introduction into *in vitro* culture is the beginning of the active growth of vegetative shoots after flowering. The most optimal sterilization technique for such plant material was a stepwise regime using alcohol, sodium hypochlorite, and silver nitrate: it provided from 50 to 70% of sterile explants and the maximum percentage of meristem proliferation. Combining 0.8 mg/L of benzylaminopurine (BAP) with 0.14 mg/L of indole-3-butyric acid (IBA) at the stage of microclonal propagation ensured a significant increase of the reproduction coefficient (on average up to 5.3 ± 0.7) and an improvement in morphometric parameters of microshoots; the maximum frequency of shoot proliferation was 100%. The yield of shoots adapted to *ex vitro* conditions was 90%.
Conclusion. The developed clonal micropropagation protocol made it possible to introduce selected *M. niedzwetzkyana* forms into *in vitro* culture and reproduce them in order to set up a resource base for further fundamental and applied research into the system of the genus *Malus* Mill.

Keywords: *Malus* Mill., *in vitro* propagation, axillary meristems, introduction, urban gardening

Acknowledgements: the study was performed within the framework of the state task under Projects AAAA-A21-121011290027-6 and AAAAA21-121011290025-2.
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Belanova A.P., Zaytseva Yu.G., Lyakh E.M. *In vitro* clonal micropropagation of selected *Malus niedzwetzkyana* Dieck forms demonstrating high resilience when introduced into urban environments. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):9-17. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-9-17

Введение

Отбор и сохранение ценных форм растений, перспективных для хозяйственного использования, включая озеленение населенных мест, является одной из приоритетных задач научно-исследовательских центров и ботанических садов. В настоящее время активно создаются биоресурсные коллекции отдельных высокодекоративных родовых комплексов, адаптированных к конкретным урбанизированным территориям, которые являются базой для дальнейших селекционных исследований (Vasilyeva et al., 2018; Khlestkina, 2022; Khanbabaeva et al., 2023). Распространение и использование образцов из таких коллекций позволит в дальнейшем обеспечить питомники качественным посадочным материалом и закрыть запросы зеленого хозяйства на внедрение в городскую среду высокодекоративных устойчивых растений.

Среди древесных растений наиболее высокий интерес в данной области представляют красивоцветущие и пестролистные экземпляры, которые имеют ярко выраженный габитус. Такие растения являются акцентами городской среды и в значительной степени определяют эстетику ландшафтных объектов, формируя знаковую систему ориентиров. Однако именно эти растения в озеленении городов встречаются единично, поскольку зачастую представляют собой формы, обладающие высокой вариабельностью по устойчивости к различным экологическим факторам, дают расщепление при семенном размножении и трудно укореняются традиционными способами (Barsukova, 2022). Одним из таких растений является *Malus niedzwetzkyana* Dieck. Это высокие деревья, произрастающие в Средней Азии; отдельные экземпляры этого вида достигают 6 м в высоту, обладают живописным габитусом, насыщенным бордовым оттенком листьев кроны, ярко-розовыми цветами и фиолетово-красными плодами. *M. niedzwetzkyana* обладает не только высокими декоративными качествами, но и устойчивостью к засухе и грибным заболеваниям, благодаря чему является ценным генетическим ресурсом для селекции, а также используется в качестве подвоя для создания новых форм и сортов плодовых яблонь (Harris et al., 2002; Ji et al., 2015; Liu, 2018; Jiang et al., 2020).

В качестве декоративного растения в условиях городов Сибири *M. niedzwetzkyana* используется со второй половины 70-х годов XX века, однако в настоящее время эта яблоня все еще крайне редко встречается на объектах озеленения (Chindyaeva et al., 2018). *M. niedzwetzkyana* произрастает в Средней Азии и обладает высоким полиморфизмом по ряду признаков, что усложняет таксономическое определение растений и выражается в разногласиях в вопросах видовой принадлежности. Так, например, некоторые исследователи не признают самостоятельность вида *M. niedzwetzkyana*, а считают его формой яблони Сиверса: *M. sieversii* f. *niedzwetzkyana* (Dieck) Langenf. (Likhonos, 1974; Ji et al., 2015; Wang et al., 2015). Однако последние генетические исследования доказали низкое сходство *M. niedzwetzkyana* и *M. sieversii* (Yang et al., 2020).

Высокий полиморфизм *M. niedzwetzkyana* вызывает определенные трудности при интродукции и размножении растений с конкретными хозяйственно ценными признаками. Вероятно, высокий полиморфизм скорее можно объяснить тем, что имеется огромное количество гибридов с яблоней Недзветского, что не всегда указано. Анализ интродукционных работ в условиях сибирских регионов указывает на высокую вариабельность *M. niedzwetzkyana* по таким качествам, как устойчивость к городским условиям среды и зимостойкость (Chindyaeva et al., 2018; Lechner, 2019), что существенно увеличивает риск гибели растений при озеленении и уменьшает эффект основных архитектурных достоинств растений как выразительного элемента ландшафтного объекта. Решением данной проблемы может быть отбор и последующее размножение устойчивых интродуцированных экземпляров *M. niedzwetzkyana* с использованием биотехнологического подхода. Клональное микроразмножение является одним из наиболее эффективных способов сохранения и тиражирования исходных ценных форм. Современные исследования показали высокую эффективность данного подхода при работе с представителями рода *Malus* Mill. (Romadanova., 2013).

Цель данного исследования – отбор устойчивых к городским условиям маточных форм *M. niedzwetzkyana* и разработка эффективного протокола их клонального микроразмножения для сохранения в коллекции *in vitro* и создания ресурсной базы для дальнейших селекционных и интродукционных работ.

Материалы и методы

Для отбора конкретных маточных растений проводили оценку интродукционной устойчивости экземпляров *M. niedzwetzkyana*, произрастающих на городских объектах Новосибирска. В основу оценки устойчивости древесных растений и их реакции на воздействие неблагоприятных факторов в условиях урбанизированных территорий были заложены методики Т. Н. Встовской и И. Ю. Коропачинского (Vstovskaya, Koropachinsky, 2005), Л. Н. Чиндяевой с соавторами (Chindyaeva et al., 2018). Показатели устойчивости определяли путем систематических визуальных наблюдений за развитием растений (табл. 1). Проанализировали 20 растений на различных городских объектах. Растения, получившие наивысшие баллы, служили исходным материалом для дальнейшей разработки технологии размножения и сохранения *in vitro*.

В качестве эксплантов для введения экземпляров с высокой интродукционной устойчивостью в культуру *in vitro* использовали сегменты вегетативных побегов с пазушными и апикальными почками *M. niedzwetzkyana*. Для определения оптимальных сроков изоляции экспланты изолировали после окончания цветения в момент начала активного роста неодревесневших вегетативных побегов (июнь) и в период одревеснения (август). Одревесневшие и неодревесневшие побеги делили на узловые сегменты около 1 см длиной и затем подвергали последовательной стерилизации. В качестве стерилизующих агентов использовали 96-процентный этиловый спирт, 1,0-процентный гипохлорит натрия и 0,1-процентный раствор нитрата серебра. Тестировали два режима ступенчатой стерилизации: 1-й режим – последовательные обработки 70-процентным раствором этилового спирта (2 с), 1,0-процентным раствором гипохлорита натрия (15 мин); 2-й режим – последовательные обработки 70-процентным раствором этилового спирта (2 с), 1,0-процентным раствором гипохлорита натрия (15 мин), 0,1-процентным раствором нитрата серебра (10 мин).

Асептические сегменты промывали в стерильной дистиллированной воде трижды и помещали на питательную среду Мурасиге и Скуга (МС) (Murashige, Skoog, 1962), дополненную 30 г/л сахарозы и 0,4 мг/л бензоаминапу-

Таблица 1. Методика оценки интродукционной устойчивости древесных растений на урбанизированной территории

Table 1. Methodology for assessing the resilience of woody plants during their introduction to an urbanized area

Диагностический показатель	Балл
Степень ежегодного вызревания побегов, побеги вызревают:	на 100% длины – 5 баллов на 75% длины – 4 на 50% длины – 3 на 25% длины – 2 побеги не вызревают – 1
Зимостойкость растений:	повреждений нет – 5 баллов обмерзает не более 50% однолетних побегов – 4 обмерзает до 50–100% длины однолетних побегов – 3 обмерзают двулетние и более старые части растений – 2 обмерзает крона до уровня снегового покрова – 1 обмерзает вся надземная часть или растения вымерзают целиком – 0
Структура и плотность кроны:	6 и более побегов на 1 двулетний побег – 5 баллов от 2 до 5 побегов достаточно – 4 новые побеги единичны, не более 5 на всем растении – 3 утрата типичной жизненной формы и габитуса –2
Фактура кроны (характер облиственности):	однородная (облиственность 100%) – 5 баллов средняя, до 80% – 4 слабая, до 50% – 3 низкая, менее 50% – 2 очень низкая – 1
Долговечность в городской среде:	сохранение декоративных качеств, приближено к возрастным показателям в естественных условиях – 3 балла утрата декоративных качеств на 10–20 лет раньше, чем в естественных условиях – 2 утрата декоративных качеств на 21–40 лет раньше, чем в естественных условиях – 1
Устойчивость к болезням и вредителям:	растения не повреждаются – 3 балла повреждения единичные – 2 повреждения массовые – 1
Итого:	**Высокая устойчивость – 21–26 баллов** **Средняя устойчивость – 15–20 баллов** **Низкая устойчивость – 14 баллов и ниже**

рина (БАП). Через 6 недель культивирования подсчитывали долю стерильных жизнеспособных эксплантов. Для разработки этапа собственно микроразмножения побеги, полученные на стадии введения в культуру *in vitro*, отделяли от первичного экспланта и культивировали на питательной среде МС, содержащей БАП в концентрациях 0,4; 0,8; 1,6 мг/л БАП или 0,8 мг/л БАП в сочетании с 0,14 мг/л индолил-3-масляной кислоты (ИМК). Через 8 недель культивирования подсчитывали процент пролиферации, коэффициент размножения, длину побегов и количество листьев.

Для стимуляции ризогенеза побеги около 1 см длиной переносили на МС с сокращенным вдвое составом микро- и макроэлементов (1/2 МС), дополненную 0,1 мг/л ИМК в сочетании с 0,1 мг/л индолилуксусной кислоты (ИУК). Продолжительность этапа укоренения составила 6 недель, после чего были подсчитаны следующие параметры: процент укоренившихся микропобегов, количество и длина корней, процент микропобегов с вторичными корнями. Адаптация асептической культуры к условиям *ex vitro* проводилась в специальных боксах с регулируемой системой освещения и влажностью. Укорененные *in vitro* микропобеги адаптировали в готовом торфяном субстрате «Агробалт-С» (Pindstrup, Россия), состоящем из верхового торфа pH 5,5–6,6 с добавлением комплекса минеральных удобрений и увлажняющим реагентом. Все культуры содержали под люминесцентными лампами с интенсивностью освещения 3000 лк и периодом освещения 16 часов при температуре 23 ± 2°C.

Эксперименты выполнены в трехкратной повторности. Статистическую обработку и анализ полученных данных проводили с помощью программ Microsoft Excel и Statistica 8. Полученные данные обрабатывали с помощью двухфакторного и однофакторного дисперсионного анализа. Значимость различий между средними значениями проанализировали с помощью теста Дункана. Результаты в таблицах представлены в виде средних значений и стандартных ошибок (M ± m).

Результаты и обсуждение

Комплексное изучение генофонда яблонь в условиях интродукции является основой для мобилизации, сохранения и пополнения биоресурсных коллекций новых генотипов яблони, обладающих ценными хозяйственными признаками (Barsukova, 2022). Проведенное рекогносцировочное обследование зеленых насаждений г. Новосибирска показало, что *M. niedzwetzkyana* встречается на общественных ландшафтных объектах (городские сады и парки, улицы). Все экземпляры ежегодно цветут и плодоносят (рис. 1).

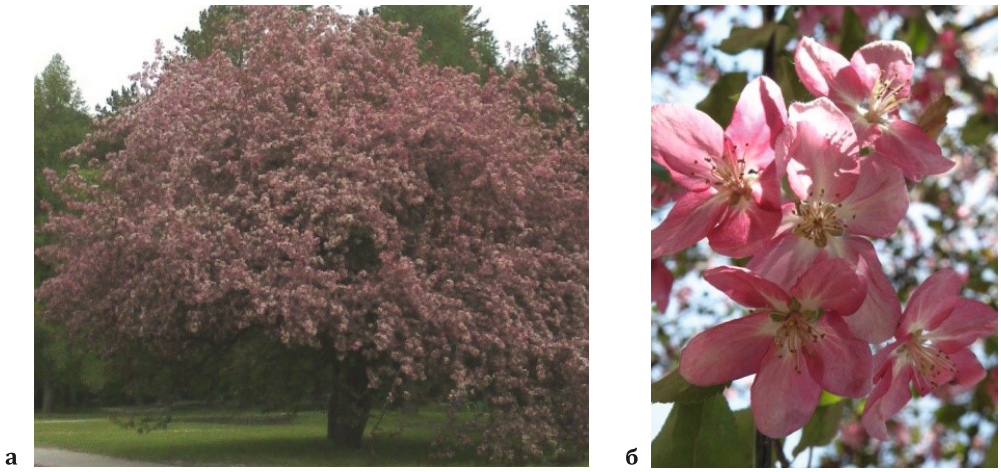


Рис. 1. ***Malus niedzwetzkyana*** **Dieck в условиях городского озеленения: а – общий вид; б – цветение** (фото А. П. Белановой)

Fig. 1. ***Malus niedzwetzkyana*** **Dieck in urban landscaping: a – general view; b – flowering** (photo by A. P. Belanova)

В ходе анализа устойчивости *M. niedzwetzkyana* на урбанизированной территории установлено, что наиболее высокой устойчивостью к неблагоприятным факторам городской среды обладают экземпляры, произрастающие на общественных ландшафтных объектах (табл. 2).

Введение в культуру *in vitro* растений из рода *Malus* зачастую осложняется высоким содержанием фенольных соединений в тканях интактных растений, накопление которых имеет сезонную динамику (Vasil'eva et al., 2009). Окисление фенольных соединений в процессе изо-

Таблица 2. Оценка интродукционной устойчивости экземпляров *Malus niedzwetzkyana* Dieck (Новосибирск, 2023–2024 гг.)

Table 2. Assessment of the resilience of *Malus niedzwetzkyana* Dieck during its introduction into urban environments (Novosibirsk, 2023–2024)

Диагностический показатель	Городские сады и парки	Озеленение улиц	Дендрологический парк
Степень ежегодного вызревания побегов	5	5	5
Зимостойкость растений	5	5	5
Структура и плотность кроны	5	5	4
Фактура кроны (характер облиственния)	5	5	4
Долговечность в городской среде	2	2	1
Устойчивость к болезням и вредителям	3	3,1	1
Итого, балл	**25**	**22–25**	**20**

При этом исследуемые экземпляры оказались идентичны по признакам зимостойкости и степени вызревания побегов, в то время как показатели развития кроны и долговечности в интродукционной среде были выше в условиях общественных ландшафтных объектов. Наиболее существенные отличия среди исследованных образцов выявлены при диагностировании устойчивости к воздействию патогенов. При этом установлено, что наиболее устойчивые по этому признаку растения произрастали в городских парках и в зеленых насаждениях улиц (см. табл. 2). На основе полученных данных было отобрано семь маточных растений *M. niedzwetzkyana*, показавших наибольшую интродукционную устойчивость на городской территории; из них шесть растений из уличного озеленения и одно растение с территории городского парка. Отобранные растения *M. niedzwetzkyana* служили исходным материалом для дальнейшей разработки протокола клонального микроразмножения и сохранения *in vitro*.

ляции эксплантов приводит к замедлению роста, снижению регенерационной способности и в конечном итоге к некрозу эксплантов (Uchendu et al., 2011). В этой связи определение оптимальных сроков изоляции эксплантов, наряду с подбором эффективного режима стерилизации, является одной из важнейших задач при введении в культуру *in vitro*. Выявление оптимального периода взятия растительного материала для введения в культуру *in vitro* проводилось у различных представителей рода *Malus* (Matushkina, Pronina, 2008; Romadanova et al., 2008; Churikova, 2019; Nurtaza et al., 2019). Установлено, что оптимальными для изоляции могут быть как период зимнего покоя и начала выхода из него (февраль – март), так и период активного роста (май – июнь). При этом наиболее высокие ростовые показатели при регенерации отмечены при использовании неодревеснев-ших эксплантов.

В наших экспериментах сегменты побегов с апикальными и пазушными почками *M. niedzwetzkyana* изолиро-

вали в начале июня (неодревесневшие) и августе в период одревеснения. При этом установлено, что степень контаминации неодревесневших эксплантов по сравнению с одревесневшими была ниже и регенерационный потенциал выше. Таким образом, оптимальным сроком изоляции эксплантов *M. niedzwetzkyana* является начало периода активного роста вегетативных побегов после цветения. Из испытанных способов стерилизации наиболее эффективным оказался 2-й ступенчатый режим с использованием спирта, гипохлорита натрия и нитрата серебра. Этот способ позволил получить от 50 до 70% стерильных эксплантов и максимальный процент пролиферации меристем (табл. 3).

повышает такой показатель, как число побегов на эксплант, но и способствует элонгации вновь полученных побегов у *M. sieversii* (Kakimzhanova et al., 2023).

В представленной работе испытывали влияние БАП и ИМК на пролиферацию меристем и ростовые параметры регенерантов *M. niedzwetzkyana*. На данном этапе максимальный процент пролиферации побегов был на уровне 100% во всех испытанных вариантах сред. Из испытанных концентраций БАП наибольший коэффициент размножения получен в присутствии 0,8 мг/л этого регулятора роста. Длина побегов и число листьев существенно не зависели от концентрации этого цитокинина в среде (табл. 4).

Таблица 3. Влияние способов стерилизации и стадии развития эксплантов на выход асептических эксплантов и пролиферацию меристем *Malus niedzwetzkyana* Dieck

Table 3. The effect of sterilization techniques and explant development stages on the yield of aseptic explants and meristem proliferation of *Malus niedzwetzkyana* Dieck

Стадия развития эксплантов	Способы стерилизации	% с контаминацией	% асептических эксплантов	% пролиферации меристем
ОП	70-процентный раствор этилового спирта (2 с) 1,0-процентный раствор гипохлорита натрия (15 мин)	75 b	25 c	12 c
	70-процентный раствор этилового спирта (2 с) 1,0-процентный раствор гипохлорита натрия (15 мин) 0,1-процентный раствор нитрата серебра (10 мин)	50 c	50 b	31 b
НП	70-процентный раствор этилового спирта (2 с) 1,0 процентный раствор гипохлорита натрия (15 мин)	90 a	10 d	7 cd
	70-процентный раствор этилового спирта (2 с) 1,0-процентный раствор гипохлорита натрия (15 мин) 0,1-процентный раствор нитрата серебра (10 мин)	30 d	70 a	56 a
Значение двухфакторного дисперсионного анализа:				
«стадия развития эксплантов»		++*	++	++
«способ стерилизации»		++	++	нз**
«стадия развития эксплантов» × «способ стерилизации»		++	++	++

Примечание: данные приведены в виде средних значений, средние значения, за которыми следует одна и та же буква, существенно не отличаются в соответствии с тестом Дункана ($p = 0,05$); **ОП** – одревесневшие побеги; **НП** – неодревесневшие побеги; * – достоверно при $p < 0,05$; ** – недостоверно

Note: the data are presented as mean values; the means followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's test ($p = 0.05$); **ОП** – lignified shoots, **НП** – non-lignified shoots; * – significant at $p < 0.05$; ** – insignificant

На этапе собственно микроразмножения ключевую роль играет подбор оптимальных концентраций и соотношений экзогенных регуляторов роста растений. При этом БАП наиболее часто используют для активации меристем эксплантов представителей рода *Malus* (Ji et al., 2008; Magyar-Tábori et al., 2010; Papikhin et al., 2020; Nurtaza et al., 2023). Недавние исследования показали, что сочетание БАП и гиббереллиновой кислоты не только

Однако сочетание 0,8 мг/л БАП с 0,14 мг/л ИМК позволило существенно повысить коэффициент размножения (в среднем до 5,3 ± 0,7) и улучшить морфометрические показатели микропобегов (см. табл. 4; рис. 2, а). Таким образом, использование 0,8 мг/л БАП в сочетании с 0,14 мг/л ИМК позволяет наиболее эффективно реализовать морфогенный потенциал пазушных меристем *M. niedzwetzkyana* на этапе микроразмножения.

Таблица 4. Влияние БАП и ИМК на микроразмножение *Malus niedzwetzkyana* Dieck
Table 4. The effect of BAP and IBA on *Malus niedzwetzkyana* Dieck micropropagation

Концентрация регуляторов роста растений, мг/л		% пролиферации меристем	Коэффициент размножения	Средняя длина побегов, см	Среднее число листьев
БАП	ИМК				
0,4	–	100 a	1,5 ± 0,2 c	1,1 ± 0,01 bc	3,2 ± 0,03 b
0,8	–	100 a	2,7 ± 0,1 b	1,2 ± 0,01 b	3,5 ± 0,05 b
1,6	–	100 a	2,3 ± 0,3 bc	0,9 ± 0,09 c	2,7 ± 0,07 c
0,8	0,14	100 a	5,3 ± 0,7 a	1,5 ±0,06 a	4,8 ± 0,09 a

Примечание: данные приведены в виде средних значений и ошибок среднего; значения, за которыми следует одна и та же буква, существенно не отличаются в соответствии с тестом Дункана (p = 0,05)

Note: the data are presented as mean values and errors of the mean; the values followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's test (p = 0.05)

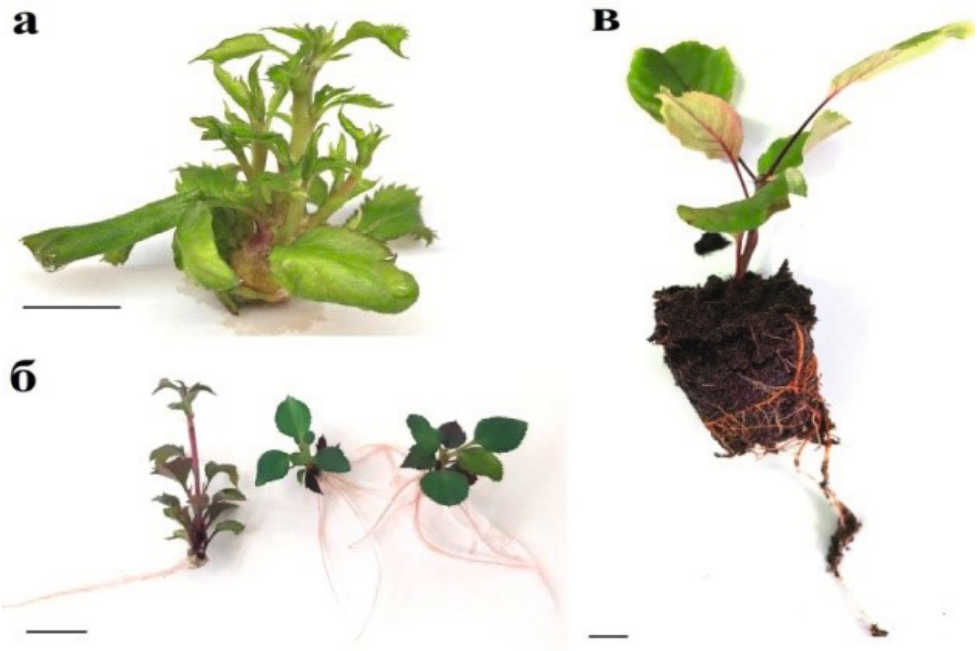


Рис. 2. Клональное микроразмножение *Malus niedzwetzkyana* Dieck: а – микропобеги; б – укоренившиеся микропобеги; в – растения, адаптированные к условиям *ex vitro*; Bar – 10 мм

Fig. 2. Clonal micropropagation of *Malus niedzwetzkyana* Dieck: a – microshoots; б – rooted microshoots; в – plants acclimated *ex vitro*; Bar – 10 mm

Для дальнейшей стимуляции ризогенеза микропобеги длиной более 1 см культивировали на 1/2 МС, дополненной 0,1 мг/л ИМК и 0,1 мг/л ИУК. В результате удалось получить 65% микропобегов с хорошо развитой корневой системой. При этом число корней в среднем составило 3,7 ± 0,1, а их длина – 3,9 ± 0,02 см (рис. 2, б).

Выход растений-регенерантов, адаптированных к условиям *ex vitro*, составил 90%. Через десять дней после адаптации отмечены побеги, имевшие два новых листа, и прирост в среднем на 0.8 см (рис. 2, в).

В итоге впервые разработан протокол введения в культуру *in vitro* и клонального микроразмножения отборных форм *Malus niedzwetzkyana*, обладающих высокой интродукционной устойчивостью, которые позволили пополнить биоресурсную коллекцию для дальнейших селекционных и интродукционных работ.

Заключение

В представленном исследовании на основе оценки интродукционной устойчивости впервые отобраны наиболее перспективные хозяйственно ценные формы *M. niedzwetzkyana*, послужившие исходным материалом для клонального микроразмножения. Впервые разработан эффективный протокол клонального микроразмножения отобранных форм *M. niedzwetzkyana* и определены сроки изоляции эксплантов для успешного получения культуры *in vitro*. Установлено, что оптимальным способом получения асептических эксплантов является их ступенчатая стерилизация с использованием 70-процентного спирта, 1,0-процентного гипохлорита натрия и 0,1-процентного нитрата серебра. Максимальные показатели размножения и развития побегов получены под действием 0,8 мг/л БАП с 0,14 мг/л ИМК.

Таким образом, продемонстрированное сочетание методов традиционной оценки интродукционной устойчивости и клонального микроразмножения представляет собой комплексный высокотехнологичный междисциплинарный подход к отбору хозяйственно ценных форм для пополнения биоресурсных коллекций, которые в свою очередь позволят создать устойчивую базу для дальнейших фундаментальных исследований и прикладных разработок. В результате использования данного подхода отобраны и поддерживаются в коллекции *in vitro* устойчивые к низким температурам и условиям урбанизированных территорий формы высокодекоративного вида – *M. niedzwetzkyana.* Сохранение хозяйственно ценных форм растений методом *in vitro* позволит создать ресурсную базу родового комплекса *Malus*, которая может быть использована для массового получения адаптированного посадочного материала яблонь для озеленения городских территорий, что является ценной основой для дальнейших селекционных и интродукционных работ.

References / Литература

Barsukova O.N. Niedzwetzky's apple (*Malus niedzwetzkyana* Dieck): evaluation and breeding prospects*. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding.* 2020;181(3):64-69. [in Russian] (Барсукова О.Н. Изучение и перспективы селекционного использования яблони Недзвецкого (*Malus niedzwetzkyana* Dieck). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(3):64-69). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-64-69

Chindyaeva L.N., Tomoshevich M.A., Belanova A.P., Banaev E.V. Woody plants in green landscaping of Siberian cities (Drevesnye rasteniya v ozelenenii sibirskikh gorodov). Novosibirsk: Geo; 2018. [in Russian] (Чиндяева Л.Н., Томошевич М.А., Беланова А.П., Банаев Е.В. Древесные растения в озеленении сибирских городов. Новосибирск: Гео; 2018).

Churikova O.A. Conservation of apple species in the *in vitro* collection. *Breeding and Variety Cultivation of Fruit and Berry Crops*. 2019;6(2):97-99. [in Russian] (Чурикова О.А Сохранение видов яблони в коллекции *in vitro*. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2019;6(2):97-99).

Harris S.A., Robinson J.P., Juniper B.E. Genetic clues to the origin of the apple. *Trends in Genetics*. 2002;18(8):426-430. DOI: 10.1016/s0168-9525(02)02689-6

Ji X.H., Wang Y.T., Zhang R., Wu S.J., An M.M., Li M. et al. Effect of auxin, cytokinin and nitrogen on anthocyanin biosynthesis in callus cultures of red-fleshed apple (*Malus sieversii* f. *niedzwetzkyana*). *Plant Cell Tissue and Organ Culture.* 2015;120(1):325-337. DOI: 10.1007/s11240-014-0609-y

Jiang H., Zhou T., Fan J., Zhang D., Zhang L., Sun Y. et al. 'Yangzhi Yu': a double-flowered ornamental crabapple. *HortScience*. 2020;55(4):589-590. DOI: 10.21273/HORTSCI14677-19

Kakimzhanova A.A., Dyussembekova D., Nurtaza A. Yessimseitova A.K., Shevtsov A., Lutsay V. et al. An efficient micropropagation system for the vulnerable wild apple species, *Malus sieversii*, and confirmation of its genetic homogeneity. *Erwerbs-Obstbau*. 2023;65(5):621-632. DOI: 10.1007/s10341-022-00720-8

Khanbabaeva O.E., Levko G.D., Kukurichkin G.M. Creation of bioresource collections generic decorative complexes herbaceous plants in botanical gardens and research institutions. In: A.A. Isaev (ed.). *Safe North – Clean Arctic: Proceedings of the V All-Russian (with international attendance) Scientific and Practical Conference, April 13–14, 2023, Surgut* (*Bezopasny Sever – chistaya Arktika: sbornik materialov V Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiyem) nauchno-prakticheskoy konferentsii, 13–14 aprelya 2023 g., Surgut*). Surgut; 2023. p.329-331. [in Russian] (Ханбабаева О.Е, Левко Г.Д., Кукуричкин Г.М. Создание биоресурсных коллекций родовых комплексов декоративных травянистых растений в ботанических садах и научно-исследовательских учреждениях. В кн.: *Безопасный Север – чистая Арктика: сборник материалов V Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, 13–14 апреля 2023 г., Сургут* / под ред. А.А. Исаева. Сургут, 2023. С.329-331).

Khlestkina E.K. Genetic resources in Russia: from collections to bioresource centers. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(1):9-30. [in Russian] (Хлесткина Е.К. Генетические ресурсы России: от коллекций к биоресурсным центрам. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.* 2022;183(1):9-30). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-9-30

Lechner M.P. Introduction apple (*Malus* Mill.) in the Kuzbass Botanical Garden *Botanical Research of Siberia and Kazakhstan*. 2019;(25):98-101. [in Russian] (Лехнер М.П. Интродукция яблони (*Malus* Mill.) в Кузбасском ботаническом саду. *Ботанические исследования Сибири и Казахстана.* 2019;(25):98-101).

Likhonos F.D. |A survey of species in the genus *Malus* Mill. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1974;52(3):16-34. [in Russian] (Лихонос Ф.Д. Обзор видов в роде *Malus* Mill. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1974;52(3):16-34).

Liu Y.N. Studies of standard description and database construction of *Malus* cultivars. Beijing: Chinese Academy of Forestry; 2018. [in Chinese]

Magyar-Tábori K., Dobránszki J., Teixeira da Silva J., Bulley S., Hudak I. The role of cytokinins in shoot organogenesis in apple. *Plant Cell Tissue and Organ Culture.* 2010;101(3):251-267. DOI: 10.1007/s11240-010-9696-6

Matushkina O.V., Pronina I.N. New in the *in vitro* technology of fruit crops (Novoye v tekhnologii *in vitro* plodovykh kultur). *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia.* 2008;18:224-232. [in Russian] (Матушкина О.В., Пронина И.Н. Новое в технологии *in vitro* плодовых культур. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2008;18:224-232).

Murashige T., Skoog F.A. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962;15(3):473-497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

Nurtaza A., Karimova V., Magzumova G., Muranets A., Kakimzhanova A. Effect of pH, light intensity, and fertilizers on acclimatization of endangered rooted plantlets *Malus niedzwetzkyana* for restoration in nature. *Journal of Plant Nutrition.* 2023;46(12):2850-2864. DOI: 10.1080/01904167.2022.2160756

Nurtaza A., Karimova V., Magzumova G., Muranets A., Kakimzhanova A. The future of walnut–fruit forests in Kyrgyzstan and the status of the iconic Endangered apple *Malus niedzwetzkyana*. *Oryx.* 2019;53(3):415-423. DOI: 10.1017/S0030605318001230

Papikhin R., Muratova S., Dubrovsky E., Grigoryeva M. Development of methods for introducing hybrid progeny of *Malus sieboldii* Rehd. at *in vitro* conditions. *E3S Web of Conferences.* 2020;210:06024. DOI: 10.1051/e3sconf/202021006024

Romadanova N., Mishustina S., Matakova G., Rakhimbaev I, Kushnarenko S. *In vitro* culture initiation and micropro-

pogation of perspective cultivars, rootstocks and wild forms of *Malus*. *Ізденістер, нәтижелер = Research and Results.* 2013;3(059):142-149. [in Russian] (Ромаданова Н.В., Мишустина С.А., Матакова Г.Н., Рахимбаев И.Р., Кушнаренко С.В. Введение в культуру *in vitro* и микроклональное размножение перспективных сортов, клоновых подвоев и дикорастущих форм яблони. *Ізденістер, нәтижелер = Исследование, результаты.* 2013;3(059):142-149).

Romadanova N.V., Vecherko N.A., Zhumabekov E.Zh. Conservation of the apple-tree gene pool in an *in vitro* collection (Sokhraneniye genofonda yabloni v kollektsii *in vitro*). In: A.S. Demidov (ed.). Biotechnology as a Tool for Plant Biodiversity Conservation – 2008: Proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference, Belgorod, August 19–21, 2008 (*Biotekhnologiya kak instrument sokhraneniya bioraznoobraziya rastitelnogo mira – 2008: materialy II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Belgorod, 19–21 avgusta 2008 g.*). Belgorod; 2008. p.128-132. [in Russian] (Ромаданова Н.В., Вечерко Н.А., Жумабеков Е.Ж. Сохранение генофонда яблони в коллекции *in vitro*. *Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира – 2008: материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Белгород, 19–21 августа 2008 г.* / под ред. А.С. Демидова. Белгород; 2008. С.128-132).

Uchendu E.E., Paliyath G., Brown D.C., Saxena P.K. *In vitro* propagation of North American ginseng (*Panax quinquefolius* L.). *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2021;47:710-718. DOI: 10.1007/s11627-011-9379-y

Vasil'eva I.S., Paseshnichenko V.A., Udalova Z.V., Zinov'eva S.V. Steroid furostanol glycosides: a new class of natural adaptogenes (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2009;45(5):463-472. DOI: 10.1134/S0003683809050019

Vasilyeva O.Yu., Dorogina O.V., Kuban I.N., Sarlaeva I.Ya., Buglova L.V. Methodical aspects of studying of bioresource collections of rare and economic valuable plants. *Horticulture and Viticulture*. 2018;4(214):12-18. [in Russian] (Васильева О.Ю., Дорогина О.В., Кубан И.Н., Сарлаева И.Я., Буглова Л.В. Методические аспекты изучения биоресурсных коллекций редких и хозяйственно ценных растений. *Садоводство и виноградарство*. 2018;4(214):12-18). DOI: 10.31676/0235-2591-2018-4-12-18

Vstovskaya T.N., Koropachinsky I.Yu. Woody plants in the Central Siberian Botanical Garden (Drevesnye rasteniya Tsentralnogo sibirskogo botanicheskogo sada). Novosibirsk: Geo; 2005. [in Russian] (Встовская Т.Н., Коропачинский И.Ю. Древесные растения Центрального сибирского ботанического сада. Новосибирск: Гео; 2005).

Wang N., Zheng Y., Duan N., Zhang Z., Ji X., Jiang S. et al. Comparative transcriptomes analysis of red- and white-fleshed apples in an F1 population of *Malus sieversii* f. *niedzwetzkyana* crossed with *M. domestica* 'Fuji'. *PLoS One.* 2015;10(7):0133468. DOI: 10.1371/journal.pone.0133468

Yang M., Che S., Zhang Y., Song W., Yan G., Yu W. *Malus niedzwetzkyana* (Dieck) Langenf. transcriptome comparison and phylogenetic analysis with *Malus sieversii* (Ledeb.) Roem. *Genetic Resources and Crop Evolution.* 2020;67(3):313-323. DOI: 10.1007/s10722-019-00871-w

Информация об авторах

Анастасия Петровна Беланова, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, Новосибирский государственный аграрный университет, 630039 Россия, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, boronina.a@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0002-8525-0177

Юлианна Геннадьевна Зайцева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, ulianna_zaitseva@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9413-4664

Елена Михайловна Лях, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, llyakh@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-4692-7042

Information about the authors

Anastasia P. Belanova, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 101 Zolotodolinskaya St., Novosibirsk 630090, Russia, Novosibirsk State Agrarian University, 160 Dobrolyubova St., Novosibirsk 630039, Russia, boronina.a@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0002-8525-0177

Yulianna G. Zaytseva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 101 Zolotodolinskaya St., Novosibirsk 630090, Russia, ulianna_zaitseva@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9413-4664

Elena M. Lyakh, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 101 Zolotodolinskaya St., Novosibirsk 630090, Russia, llyakh@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-4692-7042

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.02.2024; одобрена после рецензирования 26.06.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 27.02.2024; approved after reviewing on 26.06.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

МОБИЛИЗАЦИЯ И СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 634.1:631.524:635.977
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-18-26

CC BY

Аспекты интродукции и перспективы использования представителей рода *Juglans* L. в центральной России

О. Ю. Емельянова, М. Ф. Цой, Л. И. Масалова

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, Орловская область, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ольга Юрьевна Емельянова, dendrariy@orel.vniispk.ru

Актуальность. Сохранение здоровья людей – важная задача современного общества. По совокупности полезных свойств орехи рода *Juglans* L. являются одними из самых ценных растений для обеспечения полноценного снабжения человека необходимыми нутриентами. Орех грецкий (*Juglans regia* L.) обладает наибольшим количеством хозяйственно ценных признаков среди представителей рода, за исключением зимостойкости. Для выращивания в более северных районах (относительно сложившегося ареала промышленных садов ореха грецкого) перспективными являются виды, которые обладают большей устойчивостью к неблагоприятным климатическим условиям. Повышение зимостойкости у ореха грецкого возможно с помощью межвидовой гибридизации. Цель данного исследования – анализ генофонда и изучение хозяйственно ценных признаков растений рода *Juglans* биоресурсной коллекции дендрария Всероссийского НИИ селекции плодовых культур (ВНИИСПК) для использования в селекции и озеленении.
Материалы и методы. Исследования проводились в дендрарии ВНИИСПК (Орловская область, 53°00’N, 36°00’E), где произрастает 7 видов рода *Juglans* L.
Результаты и заключение. По результатам исследований орех маньчжурский (*J. mandshurica* Maxim.), о. сердцевидный (*J. cordiformis* Maxim.) и гибрид Вехова (*J. cinerea* L. × *J. mandshurica* Maxim.) являются наиболее устойчивыми к неблагоприятным воздействиям окружающей среды и рекомендуются для использования в селекции и озеленении в условиях региона исследования. Среди генотипов о. грецкого (*J. regia*) наилучшими хозяйственно ценными признаками обладает сеянец сорта ‘Астаховский’, что позволяет рекомендовать его для селекции на получение новых сортов с хозяйственно ценными признаками для условий центральной России.

Ключевые слова: виды рода Орех, сорта *Juglans regia*, зимостойкость, жизненность, биоресурсная коллекция

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации FGZS-2022-0007.
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Емельянова О.Ю., Цой М.Ф., Масалова Л.И. Аспекты интродукции и перспективы использования представителей рода *Juglans* L. в центральной России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024; 185(3):18-26. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-18-26

© Емельянова О.Ю., Цой М.Ф., Масалова Л.И., 2024

MOBILIZATION AND CONSERVATION OF THE GENETIC DIVERSITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-18-26

Aspects of introduction and prospects for the use of *Juglans* L. representatives in Central Russia

Olga Yu. Emelyanova, Mikhail F. Tsoy, Lyubov I. Masalova

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Orel Province, Russia

Corresponding author: Olga Yu. Emelyanova, dendrariy@orel.vniispk.ru

Background. Human health security is an important goal of contemporary society. The combination of beneficial properties in *Juglans* nuts makes them one of the most valuable plant genetic resources, capable of ensuring a wholesome supply of nutrients required by the human organism. The Persian walnut (*Juglans regia* L.) has the largest set of useful agronomic traits among the representatives of the genus, except for winter hardiness. Its cultivation in areas farther to the north from the conventional area of distribution for commercial walnut orchards would be possible if *Juglans* spp. with higher resistance to unfavorable climate conditions could be involved. Interspecies hybridization can be used to increase winter hardiness in walnut. The objective of this study was to analyze the gene pool of *Juglans* L. and screen its bioresource collection at the arboretum of the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK) in the context of useful agronomic indicators promising for plant breeding and landscaping.
Materials and methods. The study was carried out in the VNIISPK arboretum (Orel Province, 53°00'N, 36°00'E) where 7 *Juglans* spp. are maintained.
Results and conclusion. The results of the screening highlighted *J. mandshurica* Maxim., *J. cordiformis* Maxim., and Vekhov's hybrid (*J. cinerea* L. × *J. mandshurica* Maxim.) as the most resistant to adverse environmental effects. They are recommended for use in plant breeding and landscaping programs under the conditions of Central Russia. A seedling of cv. 'Astakhovsky' demonstrated the best agronomic indicators among the Persian walnut (*J. regia*) genotypes. It can be used by breeders to develop new cultivars with useful agronomic traits for the environmental conditions of the region of study.

Keywords: *Juglans* spp., *Juglans regia* cultivars, winter hardiness, viability, bioresource collection

Acknowledgements: the study was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (FGZS-2022-0007).
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Emelyanova O.Yu., Tsoy M.F., Masalova L.I. Aspects of introduction and prospects for the use of *Juglans* L. representatives in Central Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):18-26. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-18-26

Введение

Важной задачей современного общества является решение проблем сохранения здоровья и увеличения продолжительности жизни людей. Среди путей их решения – обеспечение полноценного и регулярного снабжения организма человека всеми необходимыми нутриентами (Earle et al., 2004; Popov, 2016). По совокупности полезных свойств орехи рода *Juglans* L. являются одними из самых ценных растений планеты. Одно из подтверждений этого факта – постоянное увеличение площадей, занимаемых орехами, во всех странах мира (Slavsky, Chernyshov, 2018; Hassani et al., 2020).

Род *Juglans* включает в себя более 20 видов, произрастающих в теплоумеренных районах Евразии, Северной Америки и в горах Южной Америки. Все виды рода – древовидные, листопадные, однодомные растения с раздельнополыми цветками. Ряд представителей рода являются известными орехоплодными культурами, служат источником высокопитательных плодов и ценной древесины, обладают декоративными качествами и оказывают положительное влияние на окружающую среду, выполняя функции естественных биологических фильтров (Malysheva, Pavlova, 2011; Khusnutdinov, 2011; Lugovskoy et al., 2019).

Одним из самых распространенных среди орехоплодных культур является грецкий орех (*Juglans regia* L.). Данная культура обладает наибольшим количеством хозяйственно ценных признаков среди представителей рода и других культур отрасли ореховодства (Kornienko, 2022). Основным центром происхождения *J. regia* является Иран, где популяция грецкого ореха оценивается более чем в 10 миллионов особей, являясь отличным потенциалом для селекционных целей (Hassani et al., 2020). Также промышленное значение орех грецкий имеет в Китае, Турции, Италии, Франции, в среднеазиатских странах бывшего СССР, на Украине и в Молдове. Развита эта культура в Индии, Афганистане, Пакистане, Румынии, Чехии, Словакии, в странах Южной Африки (Botu et al., 2010; Bernard et al., 2018; Bujdoso, Csekeb, 2021; Kornienko, 2022). На сегодняшний день ведущими странами – производителями ореха грецкого являются Китай, США, Иран, Турция, Мексика и Чили. Объемы производства остальных стран, в том числе России, являются несущественными в мировом производстве (Bernard et al., 2018; Kornienko, 2022).

В России на 2020 г. количество площадей под орехом грецким составляло 13,0 тыс. га, что позволяет обеспечить лишь около 5% общего потребления населением ореха; остальные 95% импортируются (Marchenko, 2014; Biganova et al., 2015; Kornienko, 2022). Северная граница промышленного разведения *J. regia* в Российской Федерации проходит по Ростовской области. Лишь в единичных посадках в настоящее время он встречается до Санкт-Петербурга и Оренбурга (Biganova et al., 2015; Slavsky, Chernyshov, 2018). Учитывая высокую ценность орехов рода *Juglans*, увеличение их производства должно идти за счет не только внедрения высокоурожайных сортов и форм в сложившейся зоне выращивания, но и смещения границы культивирования на север, где орехоплодные культуры на данный момент не имеют промышленного распространения. В любительских садах Черноземья в последние десятилетия появляются растения, еще недавно считавшийся только южными культурами (актинидия, лимонник, кизил, персик, виноград), в том числе и орех грецкий (Marchenko, 2014). Однако в более северных районах этот вид встречается очень редко. В то же время другие представители рода успешно растут в средней полосе и в Беларуси. Это орехи маньчжурский (*J. mandshurica* Maxim.), черный (*J. nigra* L.), серый (*J. cinerea* L.), айлантолистный (*J. ailasnthifolia* Carr.), или Зибольда (*J. sieboldiana* Maxim.), мелкоплодный (*J. microcarpa* Berland.) и сердцевидный (*J. cordiformis* Maxim.) (Slavsky, Nikolaev, 2009; Suprun et al., 2016; Kozlovskaya, Yarmolich, 2018; Evtyukhova et al., 2021). В нечерноземной зоне интересна коллекция орехоплодных, заложенная А. К. Скворцовым в отделе флоры Главного ботанического сада в 1977 г. В настоящее время там успешно произрастают 5 видов (86 экземпляров возрастом от 27 до 33 лет) рода *Juglans* (Sokolova, 2018).

Для выращивания в более северных районах (относительно сложившегося ареала промышленных садов ореха грецкого) перспективными являются виды, которые обладают большей устойчивостью к неблагоприятным климатическим условиям (Slavsky, Nikolaev, 2009; Khusnutdinov, 2011; Khuzhakhmetova, Bogdanov, 2012; Kozlovskaya, Yarmolich, 2018; Evtyukhova et al., 2021). Наибольшая зимостойкость среди видов рода *Juglans* отмечается у орехов черного (*J. nigra*), Зибольда (*J. sieboldiana*), сердцевидного (*J. cordiformis*) и маньчжурского (*J. mandshurica*) (Slavsky, Nikolaev, 2009). Самым засухоустойчивым и жаростойким, будучи выходцем из районов с теплым жарким климатом, является орех грецкий (*J. regia*) (Slavsky, Nikolaev, 2009; Marchenko, 2014). Среди других видов – *J. cinerea*, *J. nigra*, *J. microcarpa* (Slavsky, Nikolaev, 2009).

Кроме эколого-биологических характеристик, для орехоплодных растений важны хозяйственно ценные признаки, в том числе качество древесины, степень отделения ядра и вкусовые качества орехов. По данным В. А. Славского и Е. А. Николаева (Slavsky, Nikolaev, 2009), лучшими качествами древесины обладают *J. nigra*, *J. regia*, *J. microcarpa* и *J. cordiformis*. Ядро легче всего отделяется у орехов грецкого (*J. regia*) и сердцевидного (*J. cordiformis*). Лучшими вкусовыми качествами обладают орехи грецкий (*J. regia*) и черный (*J. nigra*). Однако орех сердцевидный, не обладающий десертным вкусом, по мнению некоторых авторов, представляет интерес для дальнейших исследований в связи с хорошей зимостойкостью и высокой стабильной урожайностью (Slavsky, Nikolaev, 2009; Marchenko, 2014).

Основным направлением в селекции плодовых культур является создание адаптивных сортов, обладающих высокими показателями устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам с учетом экологических особенностей регионов (Biganova, Sukhorukikh, 2014; Bernard et al., 2018; Balapanov, Artyuhova, 2022). Селекция ореха грецкого ведется на зимостойкость, засухоустойчивость, скороплодность, слаборослость, устойчивость к болезням и вредителям, высокую урожайность, улучшение качества и товарности орехов (Botu et al., 2010; Biganova, Sukhorukikh, 2014; Hassani et al., 2020; Bujdoso, Csekeb, 2021). Возделывание данной культуры в умеренных и холодных климатических зонах России ограничено, прежде всего, низкой зимостойкостью. Соответственно, селекция на повышение зимостойкости является первостепенной задачей в процессе интродукции данного вида (Evtyukhova et al., 2021). Так же важно получать формы с поздним началом вегетации, чтобы исключить повреждения весенними заморозками, и скороспелыми плодами, чтобы они успевали вызревать за короткое лето (Biganova, Sukhorukikh, 2014).

Повышение зимостойкости и устойчивости к другим неблагоприятным факторам среды у ореха грецкого возможно с помощью межвидовой гибридизации с близкородственными видами, вовлечение которых в селекцию позволит обогатить сортимент регионов средней полосы России не только для озеленения, но и для продвижения ореховодства на север (Sokolova, 2018; Evtyukhova et al., 2021). Соответственно, пополнение, комплексное изучение и сохранение генетических ресурсов орехоплодных растений за счет интродукции дикорастущих видов и современных устойчивых сортов из других регионов возделывания культуры является важным. В то же время необходимо пополнять генофонд растений местными формами, не имеющими статуса сорта, но обладающими хозяйственно ценными признаками, такими как сдержанный рост и высокий уровень адаптивности (зимостойкость, засухоустойчивость, устойчивость к болезням, позднее цветение и раннее созревание плодов) (Sorokopudov et al., 2013; Suprun et al., 2016).

В дендрарии Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур (ВНИИСПК) первые представители рода *Juglans* были высажены в 1966 и 1968 г. (таблица), когда начинали создавать биоресурсную коллекцию. Затем долгое время ореховым не уделяли должного внимания. С 2017 г. начался сбор коллекции для дальнейшей селекционной работы. В соответствии с этим *цель исследования* – анализ генофонда и изучение хозяйственно ценных признаков растений рода *Juglans* биоресурсной коллекции дендрария ВНИИСПК для использования в селекции и озеленении.

Материалы и методы

Исследования проводили в дендрарии ВНИИСПК, расположенном в европейской части России в 368 км к юго-западу от Москвы (53°00'N, 36°00'E), в полутора километрах от г. Орла и в непосредственной близости от оживленной автострады Орел – Болхов, от которой дендрарий отделен однорядной посадкой липы мелколистной (Masalova et al., 2021). На сегодняшний день биоресурсная коллекция насчитывает 350 видов, форм и сортов растений, высаженных по географическому принципу. Объект исследования – виды рода *Juglans*, произрастающие в дендрарии (см. таблицу). Все они являются интродуцентами. Исследования проводились с 2012 по 2022 г. для взрослых растений и с 2019 по 2022 г. для молодых (см. таблицу).

Использовали следующие методики: определение зимостойкости – визуально в полевых условиях по завершении распускания почек по 7-балльной шкале П. И. Лапина и С. В. Сидневой (Lapin, Sidneva, 1975), где 1 – выс-

Таблица. Эколого-биологические особенности объектов исследования в дендрарии Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур

Table. Environmental and biological features of the research materials in the arboretum of the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding

Вид, гибрид	Год посадки	Общее состояние, баллы	Зимостойкость, баллы	Высота, м (на ноябрь 2022 г.)	Годичные приросты, см (в среднем за три года)
Взрослые растения (2012–2022 годы исследования)					
Гибрид Вехова (*Juglans cinerea* L. × *J. mandshurica* Maxim.	1966	1,2	1,1	26,9	16,3
Орех маньчжурский / *J. mandshurica* Maxim.	1968	1,2	1,2	27,0	17,2
Орех скальный / *J. rupestris* Engelm. ex Torr.	1968	1,6	1,4	15,7	14,0
Коэффициент вариации V, %		17,3	12,4	–	10,4
Молодые растения (2019–2022 годы исследования)					
О. айлантолистный (о. Зибольда) *J. ailantifolia* Carr. (*J. sieboldiana* Maxim.)	2019	2,3	1,0	0,4	5,6
О. грецкий 'Чемпион' / *J. regia* L. 'Chempion'	2017	2,8	3,2	2,4	6,7
О. грецкий (сеянец сорта 'Астаховский') *J. regia* L.	2019	2,1	1,1	0,6	12,8
О. грецкий (сеянец) / *J. regia* L.	2019	2,1	1,2	1,4	26,3
О. сердцевидный / *J. cordiformis* Maxim.	2019	1,0	1,1	1,8	32,1
Орех серый / *J. cinerea* L.	2019	1,4	1,3	1,9	19,8
Орех черный / *J. nigra* L.	2019	1,7	1,2	2,3	24,4
Коэффициент вариации V, %		34,5	52,4	–	50,8

ший балл зимостойкости (2 – обмерзает не более 50% длины однолетних побегов; 4 – обмерзают более старые побеги; 7 – растения вымерзают целиком); оценка состояния (жизненности) растений – по 3-балльной шкале А. Г. Головача (Golovach, 1980), где 1 – лучшее состояние (растение хорошо развито, имеет здоровый вид, хорошо развитые побеги, почки и листья, нормальную их окраску, для вступивших в плодоношение – обильно или хорошо цветет и плодоносит); степень декоративности – по методике О. Ю. Емельяновой (Emelyanova, 2016). Высота растений измерялась высотомером Nikon Forest Pro (для взрослых растений). Расчеты и статистическая обработка результатов исследований выполнены с использованием программного пакета Microsoft Excel 2016. Латинские названия таксонов приведены в соответствии с WFO (https://www.worldfloraonline.org/).

Результаты и обсуждение

Орехоплодные культуры биоресурсной коллекции дендрария ВНИИСПК составляют 6% от общего числа таксонов. Большая часть коллекции – представители рода *Juglans*, как природные виды, так и гибриды и формы народной селекции (см. таблицу). Первые экземпляры, будучи высаженными трехлетними саженцами, имеют возраст 59 лет. Все виды и формы высаживались в соответствии с зонами их географического происхождения.

Орех айлантолистный (*J. ailantifolia* Carr.), или о. Зибольда (*J. sieboldiana* Maxim.), в диком виде встречается на юге Сахалина и Кореи, в горных лесах Японии. Занесен в Красную книгу РФ. Это один из самых зимостойких представителей семейства ореховых, представляющих хозяйственную ценность. По вкусовым качествам и отделению ядра превосходит орех грецкий, но уступает ему по размеру орехов (Slavsky, Nikolaev, 2009). В дендрарий ВНИИСПК поступил из частной коллекции и высажен осенью 2019 г. одновременно с другими шестью видами (см. таблицу), но имеет самый малый прирост – 5,6 см в год (в среднем за три года). Именно из-за своего медленного роста, а также позднего срока вступления в плодоношение этот вид мало распространен в культуре. Однако другие его качества (зимостойкость, вкус, отделение ядра) могут использоваться в селекции.

Гибрид Вехова – результат гибридизации ореха серого (*J. cinerea* L.) и ореха маньчжурского (*J. mandshurica* Maxim.). Был получен и испытан Николаем Кузьмичом Веховым на лесостепной опытно-селекционной станции (ЛОСС) в Липецкой области. Оказалось, что данный гибрид прекрасно сохраняет свои свойства при пересеве. В 1966 г. сотрудники ЛОСС передали двухлетние сеянцы этого ореха в коллекцию дендрария ВНИИСПК. На сегодняшний день это высокие деревья с ажурной кроной и крупными листьями. В условиях дендрария отмечали быстрый рост, теневыносливость, высокую зимостойкость, устойчивость к болезням и вредителям, ежегодное цветение и плодоношение (4,4 и 3,6 балла соответственно, в среднем за годы исследования). Наличие этих качеств, наряду с декоративными (крупные до 1 м в длину перистые листья и ажурная крона), позволяют рекомендовать его в качестве солитера и для создания аллей и рыхлых групп в парках и лесопарках, а также в качестве лесной породы. На 01.03.2023 в коллекции произрастают пять растений (без учета молодых растений самосева) со средней высотой 26,9 м. Состояние хорошее. По шкале А. Г. Головача (Golovach, 1980) показывает высокую жизненность (см. таблицу). Дает небольшое количество самосева, что позволяет без дополнительных затрат увеличить число экземпляров коллекции.

Орех грецкий ‘Чемпион’ (*J. regia* ‘Chempion’) выведен в результате свободного опыления ореха грецкого местной популяции на факультете сельскохозяйственных наук Государственного университета в Нови-Саде (Сербия). В дендрарий ВНИИСПК поступил в 2017 г. из питомника «Дивный сад» Воронежской области. Крону формирует шаровидную. При отсутствии снежного покрова в зимний период у данного образца часто подмерзают однолетние, а иногда и двулетние побеги. Цветения на данный момент не зафиксировано. Заявленные раннеспелость и тонкая кожура орехов данного сорта (https://www.economcop.com/ru/сортимент/плодовые-саженцы/грецкий-орех/) могут быть использованы в селекции при скрещивании с более зимостойкими видами ореха и формами ореха грецкого.

Орех грецкий (*J. regia*), первое поколение от сорта ‘Астаховский’, высажен в дендрарии двулетним сеянцем в 2019 г. Собственно сорт ‘Астаховский’ характеризуется сильнорослостью (до 10 м), устойчивостью к низким температурам (подмерзание побегов при температуре –29°С составляет 1,5 балла, цветки устойчивы к весенним заморозкам), устойчивостью к болезням и вредителям, высокой урожайностью, ранней созреваемостью плодов (середина сентября), легкой отделяемостью ядра от скорлупы и отсутствием горечи. Сорт внесен в Госреестр в 2015 г. для выращивания в любительском садоводстве Центрального, Центрально-Черноземного и Средневолжского регионов. Размножается семенами, хорошо сохраняя родительские свойства (Kanshina, 2016). Однако материнское растение высаженного в дендрарии сеянца произрастало не в чистосортных посадках. Опылителями могли стать расположенные рядом о. серый и гибриды орехов (о. грецкий × о. сердцевидный и [(о. грецкий × о. сердцевидный) × (о. грецкий × о. маньчжурский)]). За три года произрастания в коллекции сеянец о. грецкого ‘Астаховский’ показал высокую зимостойкость. Годичные приросты небольшие, что может быть косвенным признаком компактности, в отличие от материнского сорта.

Орех грецкий (*J. regia*) – сеянец отборной формы, найденной в Курской области. Исходное растение обладает хорошей зимостойкостью, высокой урожайностью и сдержанным ростом (высота до 4 м). Высажен в дендрарии двулетним сеянцем высотой 60 см в 2019 г. Имеет хорошие годичные приросты. Однако степень жизненности средняя, так как растет только в высоту, боковые ветви отсутствуют, облиствение слабое.

Орех маньчжурский (*J. mandshurica*). Естественный ареал вида – смешанные и широколиственные леса Дальнего Востока России, Китай, Корейский полуостров. Высота растений достигает 25–28 м. Отличается высокой скоростью роста, ранним вступлением в плодоношение и высокой морозостойкостью (Suprun et al., 2016). В биоресурсной коллекции данный вид ореха произрастает с момента основания дендрария (см. таблицу). Демонстрирует ежегодную высокую зимостойкость и устойчивость к болезням и вредителям. Стабильно цветет, плодоносит (4,8 и 4,5 балла соответственно, в среднем за годы исследования) и дает много самосева. На месте группы из десяти деревьев, высаженных в 1968 г. на северном склоне зоны «Дальний Восток» дендрария, на данный момент произрастает небольшая рощица разновозрастных экземпляров. Молодые сеянцы

обладают хорошей силой роста и быстро догоняют более взрослые растения. Исследования данной статьи проводились на объектах, высаженных в 1968 г. (см. таблицу). Наличие большого количества жизнеспособного самосева является ограничивающим фактором для рекомендации данного вида в качестве лесной культуры.

Орех сердцевидный (*J. cordiformis*) в природе произрастает в Японии. Отличается очень высокой устойчивостью к морозам и патогенам, что позволяет выращивать его в Москве и Красноярске, а также высокими вкусовыми качествами плодов (Suprun et al., 2016). В биоресурсной коллекции ВНИИСПК высажен один экземпляр (см. таблицу), который выделяется отличной зимостойкостью и активным ростом. Средний годовой прирост – 32,1 см. Состояние хорошее. По шкале А. Г. Головача (Golovach, 1980) показывает высокую жизненность.

Орех серый (*J. cinerea*). Естественный ареал – смешанные лиственные леса восточной части Северной Америки. Обладает хорошей зимостойкостью и засухоустойчивостью, высокими вкусовыми качествами, но ядро орехов плохо отделяется от скорлупы (Slavsky, Nikolaev, 2009). В биоресурсной коллекции ВНИИСПК выращен из орехов, полученных из коллекции Ботанического сада им. Б.В. Гроздова Брянского государственного инженерно-технологического университета, и высажен на постоянное место в 2019 г. (см. таблицу) двухлетними сеянцами. За три года исследований отмечали повреждение неблагоприятными факторам зимнего периода отдельных однолетних побегов менее чем на 50% длины. В результате, несмотря на в целом здоровый вид растений, их общее развитие несколько слабее ожидаемого, прирост побегов и облиствение не достигают максимума, снижая общую оценку степени жизненности.

Орех скальный (*J. rupestris* Engelm. ex Torr.) в естественной среде (Северная Америка) может достигать 20 м в высоту, но чаще встречаются экземпляры до 10 м. Данный вид отличается высокой устойчивостью к болезням и вредителям и хорошей декоративностью за счет ажурности кроны, обусловленной более мелкими, чем у других видов орехов, листьями с бóльшим количеством пар листочков (Masalova, 2020). В биоресурсной коллекции ВНИИСПК находится с 1968 г. Получен в виде двухлетних сеянцев из ЛОСС (Липецкая область). В условиях дендрария достиг довольно крупных для данного вида размеров (более 15 м в высоту). В отдельные зимы наблюдаются повреждения однолетних побегов менее чем на 50% длины. Тем не менее растения быстро восстанавливаются, ежегодно цветут и плодоносят (4,6 и 4,1 балла соответственно, в среднем за годы исследования), что соответствует хорошей степени жизненности (см. таблицу).

Орех черный (*J. nigra*). Ареал его происхождения – Северная Америка, где он редко образует чистые посадки, произрастая в смешанных лиственных лесах. Может достигать в высоту до 40 м. Вид характеризуется высокой зимостойкостью, засухоустойчивостью и хорошими вкусовыми качествами (Slavsky, Nikolaev, 2009). В дендрарии высажен двухлетними сеянцами в соответствующей географической зоне. Сеянцы выращены из орехов, полученных из коллекции Ботанического сада им. Б.В. Гроздова Брянского государственного инженерно-технологического университета. За три года исследований отмечался активный рост. Средний годичный прирост составляет 24,4 см. Зимостойкость в условиях средней полосы оказалась не очень высокой. В зимний период наблюдалось повреждение отдельных однолетних побегов более чем на 50% длины, что привело к снижению общей оценки степени жизненности (см. таблицу).

Исследование совокупности объектов, высаженных в последние 8 лет, по степени жизненности показало ее неоднородность со значительной степенью рассеивания (коэффициент вариации 34,5%). Наилучшее общее состояние среди молодых растений коллекции отмечено у о. сердцевидного, среди посаженных в 1966–1968 гг. – у гибрида Вехова и о. маньчжурского (см. таблицу).

Важным показателем адаптивности для растений в условиях интродукции является зимостойкость, то есть способность растений противостоять комплексу воздействий внешней среды на протяжении зимнего и ранневесеннего периодов (Masalova et al., 2021). Растения рода *Juglans* (особенно о. грецкий) относятся к достаточно теплолюбивым породам. Соответственно, в условиях с холодными зимами деревья нередко повреждаются, что отрицательно сказывается на величине и качестве урожая, а также на общем состоянии растений (Balapanov, Artyuhova, 2022). Зимостойкость растений дендрария определяли визуально в полевых условиях по завершении распускания почек, когда повреждения наиболее заметны. В годы исследования в зимний период в Орловском регионе наблюдались разные условия: от мягких (с устойчивыми отрицательными температурами от –4°С до –15°С и постоянным снежным покровом) до довольно суровых (с резкими колебаниями температуры от –20°С до +9°С и почти без снега в январе 2021 г.). Изучение зимостойкости объектов показало значительную степень рассеивания данного признака для объектов, высаженных в 2017 и 2019 г. (коэффициент вариации 52,4%), и однородность для растений, высаженных в 1966 и 1968 г. (коэффициент вариации 12,4%). Большинство генотипов хорошо переносят условия зимнего периода региона исследования, за исключением о. грецкого ‘Чемпион’ (см. таблицу). У имеющего более южное, по сравнению с Орловской областью, происхождение (Сербия) о. грецкого ‘Чемпион’ почти ежегодно наблюдается подмерзание однолетних побегов, а в отдельные зимы (в частности зимой 2021/2022 г. при перепадах абсолютных температур от –20°С до +9°С и обратно с интервалом в 5–7 дней) и некоторых двулетних (до 50% длины). В годы с ранней теплой весной и возвратными заморозками из-за раннего распускания почек могут подмерзать молодые побеги, которые быстро восстанавливаются из спящих почек. Однако полученные повреждения отрицательно сказываются на степени цветения и, соответственно, плодоношения у вступивших в плодоношение экземпляров коллекции.

Три вида, высаженные в 1966–1968 гг., достигли максимальных для данных видов размеров (см. таблицу). Гибрид Вехова и о. маньчжурский – деревья I величины, о. скальный – II величины (Kolesnikov, 1974). Несмотря на это они имеют ежегодный прирост, как в ширину, так и в высоту (14–17 см). Среди видов и форм, высаженных в 2017 и 2019 г., в стадии активного роста с хорошими годичными приростами находятся орехи сердцевидный, серый и черный. Данный факт косвенно подтверждает потенциальную возможность достижения ими в будущем своих природных размеров (деревья I и II величины). Также хорошие приросты наблюдаются у сеянца отборной формы ореха грецкого, в то время как материнское растение имеет высоту менее 4 метров. Здесь возможны две причины, требующие дальнейшего изучения. Первая – низкорослость не предается потомству и, соответственно, сеянец не будет источником данного

признака. Вторая – низкорослость передается сеянцам, но в первые годы они растут быстро, что является положительным качеством для селекции и питомниководства. Сеянец о. грецкого сорта 'Астаховский' и о. айлантолистный имеют небольшие годичные приросты. Согласно литературным данным (Slavsky, Nikolaev, 2009), для о. айлантолистного это типично. Материнское растение (собственно сорт) сеянца является сильнорослым. Медленный рост в первые годы жизни – отрицательный признак для обоих объектов. Большие различия у молодых объектов по величине годичных признаков характеризуют данную совокупность в целом как неоднородную, со значительной степенью рассеивания данного признака (коэффициент вариации 50,8%).

В процессе интродукции растений, а также при подборе родительских пар в селекции важным показателем является устойчивость объектов к вредителям и болезням. Основная часть современного сортимента восприимчива к бурой пятнистости (антракнозу), вызываемому *Gnomonia leptostyla* (Fr.) Ces. & De Not. и *Marsoniana juglandis* Magn. Из вредителей наибольшие повреждения листьям ореха грецкого наносят клещи и ореховая тля (Biganova, Sukhorukikh, 2014). Виды и формы рода *Juglans*, произрастающие в дендрарии, за годы исследований показали высокую устойчивость к данным факторам. Поражения болезнями и повреждения вредителями обнаружены не были.

Говоря о растениях рода *Juglans* как о потенциально перспективных орехоплодных культурах, нельзя не отметить важность качества цветения и плодоношения в условиях исследования как залога высоких урожаев. Биологическая урожайность у данных видов связана с численностью полноценных пестичных цветков, формирующихся на единице площади плодоносной части кроны, и процентом завязывания орехов (Biganova, Sukhorukikh, 2014). Все вступившие в плодоношение виды рода *Juglans* биоресурсной коллекции дендрария ВНИИСПК, то есть виды, высаженные в 1966 и 1968 г. (см. таблицу), цветут в апреле – начале мая одновременно с распусканием листьев. Плоды созревают в сентябре – октябре. Степени цветения и плодоношения у данных видов хорошие или отличные, что зависит от погодных условий во время цветения.

Заключение

Анализ генофонда и изучение хозяйственно ценных признаков растений рода *Juglans* биоресурсной коллекции дендрария ВНИИСПК показали, что гибрид Вехова (*J. cinerea* × *J. mandshurica*), о. маньчжурский (*J. mandshurica*) и о. сердцевидный (*J. cordiformis*) являются наиболее устойчивыми к неблагоприятным воздействиям окружающей среды в коллекции и рекомендуются для озеленения и использования в селекции в условиях региона исследования. Вступившие в плодоношение экземпляры гибрида Вехова (*J. cinerea* × *J. mandshurica*) и о. маньчжурский (*J. mandshurica*) имеют достаточно высокие степени цветения и плодоношения. Все растения гибрида Вехова (*J. cinerea* × *J. mandshurica*), о. маньчжурского (*J. mandshurica*) и о. сердцевидного (*J. cordiformis*) обладают хорошей жизненностью, проявляют высокую степень устойчивости к повреждающим климатическим факторам зимнего периода, не поражаются болезнями и не повреждаются вредителями, имеют хороший ежегодный прирост. Среди генотипов о. грецкого (*J. regia*) наилучшими хозяйственно ценными признаками (высокая зимостойкость, устойчивость к болезням и вредителям, потенциальная компактность кроны) обладает сеянец сорта 'Астаховский', что позволяет после вступления в плодоношение рекомендовать его в качестве исходной формы в процессе гибридизации с наиболее устойчивыми к неблагоприятным воздействиям окружающей среды видами (*J. mandshurica*, *J. cordiformis*) и гибридом Вехова (*J. cinerea* × *J. mandshurica*) для получения новых сортов с хозяйственно ценными признаками в условиях центральной России.

References / Литература

Balapanov I.M., Artyuhova L.V. Selection of sources for biotic and abiotic stressors among promising forms of walnut in the Krasnodar region. *Scientific Works of North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making*. 2022;34:58-61. [in Russian] (Балапанов И.М., Артюхова Л.В. Отбор источников к биотическим и абиотическим стрессорам среди перспективных форм ореха грецкого на территории Краснодарского края. *Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия*. 2022;34:58-61). DOI: 10.30679/2587-9847-2022-34-58-61

Bernard A., Lheureux F., Dirlewanger E. Walnut: past and future of genetic improvement. *Tree Genetics and Genomes*. 2018;14(1):1-28. DOI: 10.1007/s11295-017-1214-0

Biganova S.G., Sukhorukikh Yu.I. Main trends in walnut breeding for commercial cultivation (Osnovnye napravleniya selektsii gretskogo orekha dlya promyshlennogo razvedeniya). In: *Science and Education in the Life of Contemporary Society: a collection of scientific papers based on the proceedings of an international scientific and practical conference held on December 30, 2014. Part 3 (Nauka i obrazovaniye v zhizni sovremennogo obshchestva: sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 30 dekabrya 2014 g. Chast 3)*. Tambov: Uucom; 2014. p.15-17. [in Russian] (Биганова С.Г., Сухоруких Ю.И. Основные направления селекции грецкого ореха для промышленного разведения. В кн.: *Наука и образование в жизни современного общества: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции 30 декабря 2014 г. Часть 3*. Тамбов: Юком; 2014. С.15-17). URL: http://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/2014.12.30.03.pdf [дата обращения: 04.03.2024].

Biganova S.G., Sukhorukikh Yu.I., Lugovskoy A.P. Modern selection trends of walnut in Russia. *Modern Problems of Science and Education*. 2015;(2-1):531. [in Russian] (Биганова С.Г., Сухоруких Ю.И., Луговской А.П. Современные тенденции селекции ореха грецкого в России. *Современные проблемы науки и образования*. 2015;(2-1):531).

Botu M., Tudor M., Papachatzis A. Evaluation of some walnut cultivars with different bearing habits in the ecological conditions of Oltenia – Romania. *Acta Horticulturae*. 2010;861:119-126. DOI: 10.17660/ActaHortic.2010.861.15

Bujdoso G., Csekeb K. The Persian (English) walnut (*Juglans regia* L.) assortment of Hungary: Nut characteristics and origin. *Scientia Horticulturae*. 2021;283:110035. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110035

Earle M., Earle R., Anderson A. Food product development. St. Petersburg: Professiya; 2004. [in Russian] (Эрл М., Эрл Р., Андерсон А. Разработка пищевых продуктов. Санкт-Петербург: Профессия; 2004).

Economic Cooperative. Walnut (*Juglans regia*) (Gretsky orekh): [website]. [in Russian] (Economic Cooperative.

Грецкий орех (*Juglans regia*): [сайт]). URL: https://www.economcop.com/ru/сортимент/плодовые-саженцы/грецкий-орех/ [дата обращения: 21.02.2024].

Emelyanova O.Yu. For method of complex assessment of woody plants decorativeness. *Contemporary Horticulture*. 2016;3(19):54-74. [in Russian] (Емельянова О.Ю. К методике комплексной оценки декоративности древесных растений. *Современное садоводство*. 2016;3(19):54-74).

Evtyukhova A.V., Pokinchereda A.M., Nakonechnaya D.V., Tivikova D.S. Study of morphological features characteristics of hybrids of three types of walnut (*Júglans régia*), Zibold's nut (*Júglans sieboldiana*), gray nut (*Júglans cinérea*). *Izvestiya Natsionalnoy Akademii nauk Kyrgyzskoy Respubliki = News of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic*. 2021;(S2):73-84. [in Russian] (Евтюхова А.В., Покиньчереда А.М., Наконечная Д.В., Тивикова Д.С Изучение взаимосвязи морфологических признаков гибридов трех видов ореха: ореха грецкого (*Júglans régia*), ореха зибольда (*Júglans sieboldiana*), ореха серого (*Júglans cinérea*). *Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики*. 2021;(S2):73-84).

Golovach A.G. Trees, shrubs, and lianas of the Botanical Garden of the Botanical Institute, USSR Academy of Sciences: results of introduction (Derevya, kustarniki i liany botanicheskogo sada BIN AN SSSR: itogi introduktsii). Leningrad: Nauka; 1980. [in Russian] (Головач А.Г. Деревья, кустарники и лианы ботанического сада БИН АН СССР: итоги интродукции. Ленинград: Наука; 1980).

Hassani D., Sarikhani S., Dastjerdi R., Mahmoudi R., Soleimani A., Vahdati K. Situation and recent trends on cultivation and breeding of Persian walnut in Iran. *Scientia Horticulturae*. 2020;270:109369. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109369

Kanshina M.V. New Persian walnut for middle part of Russia. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*. 2016;40(4):23-29. [in Russian] (Каньшина М.В. Новый сорт грецкого ореха для средней полосы России. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2016;40(4):23-29).

Khusnutdinov R.M. Introduction of *Juglans* L. family by the species complex under the conditions of Orenburg. *IZVESTIA Orenburg State Agrarian University*. 2011;2(30):238-241. [in Russian] (Хуснутдинов Р.М. Интродукция родовым комплексом рода *Juglans* L. в условия Оренбурга. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2011;2(30):238-241).

Khuzhakhmetova A.Sh., Bogdanov A.V. Adaptation capabilities and ecological and economic prospects for the use of nut crops in the Lower Volga Region (Adaptatsionnye vozmozhnosti i ekologo-khozyaystvennaya perspektiva primeneniya orekhoplodnykh kultur v Nizhnem Povolzhye). *Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*. 2012;2(26):74-79. [in Russian] (Хужахметова А.Ш., Богданов А.В. Адаптационные возможности и эколого-хозяйственная перспектива применения орехоплодных культур в Нижнем Поволжье. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2012;2(26):74-79).

Kolesnikov A.I. Ornamental dendrology (Dekorativnaya dendrologiya). Moscow: Lesnaya Promyshlennost; 1974. [in Russian] (Колесников А.И. Декоративная дендрология. Москва: Лесная промышленность; 1974).

Kornienko P.S. Comparative analysis states and the spread of walnut in the world, as well as the problems of its cultivation in Russia. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2022;29(192):46-58. [in Russian] (Корниенко П.С. Сравнительный анализ состояния и распространения ореха грецкого в мире, а также проблематика его возделывания в России. *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2022;29(192):46-58).

Kozlovskaya Z.A., Yarmolich S.A. Nut-bearing crops in Belarus (Orekhoplodnye kultury v Belarusi). *Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ikh ispolzovaniya = New and Unconventional Plants and Prospects of Their Utilization*. 2018;(13):69-73. [in Russian] (Козловская З.А., Ярмолич С.А. Орехоплодные культуры в Беларуси. *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования*. 2018;(13):69-73).

Lapin P.I., Sidneva S.V. Assessment of the freezing degree in plant species (Otsenka stepeni podmerzaniya vidov rasteniy). In: *Woody Plants of the Main Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences* (*Drevesnye rasteniya Glavnogo botanicheskogo sada AN SSSR)*. Moscow: Nauka; 1975. p.18-19. [in Russian] (Лапин П.И., Сиднева С.В. Оценка степени подмерзания видов растений. В кн.: *Древесные растения Главного ботанического сада АН СССР*. Москва: Наука; 1975. С.18-19).

Lugovskoy A.P., Artykhova L.V., Balapanov I.M. Improvement of Persian walnut assortment in the North Caucasus zone. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*. 2019;56(2):35-50. [in Russian] (Луговской А.П., Артюхова Л.В., Балапанов И.М. Совершенствование сортимента ореха грецкого в зоне Северного Кавказа. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2019;56(2):35-50). DOI: 10.30679/2219-5335-2019-2-56-35-50

Malysheva Z.G., Pavlova E.G. The use of nut crops in solving environmental problems of industrial cities (Ispolzovaniye orekhoplodnykh v reshenii ekologicheskikh problem promyshlennykh gorodov). In: E.I. Tikhomirova (ed.). *Environmental Problems of Industrial Cities: a collection of scientific papers based on the proceedings of the 5th All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation* (*Ekologicheskiye problemy promyshlennykh gorodov: sbornik nauchnykh trudov po materialam 5-y Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem*). Saratov; 2011. p.134-137. [in Russian] (Малышева З.Г., Павлова Е.Г. Использование орехоплодных в решении экологических проблем промышленных городов. В кн.: *Экологические проблемы промышленных городов: сборник научных трудов по материалам 5-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием* / под ред. Е.И. Тихомировой. Саратов; 2011. С.134-137).

Marchenko A.A. Nuts in our garden (Orekhi v nashem sadu). Voronezh: Sotsium; 2014. [in Russian] (Марченко А.А. Орехи в нашем саду. Воронеж: Социум; 2014).

Masalova L., Emelyanova O., Tsoy M., Pavlenkova G., Firsov A. Ecological and biological features of the development of introduced species of the genus *Abies* Mill. *E3S Web of Conferences*. 2021;254:06001. DOI: 10.1051/e3sconf/202125406001

Masalova L.I. Prospects for the use of North American fruit plants in horticulture Central Russia. *Breeding and Variety Cultivation of Fruit and Berry Crops*. 2020;7(1-2):102-105. [in Russian] (Масалова Л.И. Перспективность использования североамериканских плодовых растений в садоводстве ЦЧР России. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2020;7(1-2):102-105). DOI: 10.24411/2500-0454-2020-11226

Popov A.S. Fruit dogwood as a promising raw material for manufacture products of functional food. In: *Agrotechno-*

logical Processes in the Framework of Import Substitution: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference; Michurinsk, October 25–27, 2016 (*Agrotekhnologicheskiye protsessy v ramkakh importozameshcheniya: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii; Michurinsk, 25–27 oktyabrya 2016 g.*). Michurinsk; 2016. p.271-275. [in Russian] (Попов А.С. Плоды кизила как перспективное сырье для производства продуктов функционального питания. В кн.: *Агротехнологические процессы в рамках импортозамещения: материалы Международной научно-практической конференции; Мичуринск, 25–27 октября 2016 г*. Мичуринск; 2016. С.271-275).

Slavsky V.A., Chernyshov M. The growth and vitality of nuts of the genus *Juglans* in the Voronezh region. *Forestry Engineering Journal*. 2018;8(2[30]):86-95. [in Russian] (Славский В.А., Чернышов М.П. Рост и жизнеспособность орехов рода *Juglans* в Воронежской области. *Лесотехнический журнал*. 2018;8(2[30]):86-95). DOI: 10.12737/article_5b24060d99e265.98691250

Slavsky V.A., Nikolaev E.A. Comparative characteristics of black walnuts in the Central Chernozem areas and prospects of their cultivating. *Russian Forestry Journal*. 2009;(6):29-34. [in Russian] (Славский В.А., Николаев Е.А. Сравнительная характеристика орехов рода *Juglans* в Центральном Черноземье и перспективы введения их в культуру. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2009;(6):29-34).

Sokolova V.V. Collection of nut-bearing plants from the Flora Department of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (Kollektsiya orekhoplodnykh otdela flory Glavnogo botanicheskogo sada RAN). *Plant Biology and Horticulture: Theory, Innovation*. 2018;147:153-155. [in Russian] (Соколова В.В. Коллекция орехоплодных отдела флоры Главного ботанического сада РАН. *Биология растений и садоводство: теория, инновации*. 2018;147:153-155).

Sorokopudov V.N., Rengarten G.A., Podkopaylo R.V., Litvinova L.S., Shirina L.S., Sorokopudova O.A. et al. Nontraditional fruit of Russian culture: introduction, improvement, assortment. *Fundamental Research*. 2013;(11-1):115-121. [in Russian] (Сорокопудов В.Н., Ренгартен Г.А., Подкопайло Р.В., Литвинова Л.С., Ширина Л.С., Сорокопудова О.А. и др. Совершенствование сортимента нетрадиционных садовых культур России. *Фундаментальные исследования*. 2013;(11-1):115-121).

Suprun I., Lugovskoy A., Balapanov I. Introduction of new forms and updating the walnut gene pool as the basis of improvement of crop's assortment in the south of Russia. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*. 2016;39(3):26-41. [in Russian] (Супрун И.И., Луговской А.П., Балапанов И.М. Интродукция новых форм и пополнение генофонда ореха грецкого как основа улучшения сортимента культуры на юге России. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2016;39(3):26-41).

WFO: The World Flora Online: [website]. Available from: https://www.worldfloraonline.org/ [accessed Mar. 19, 2024].

Информация об авторах

Ольга Юрьевна Емельянова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 302530 Россия, Орловская область, Орловский район, д. Жилина, dendrariy@orel.vniispk.ru, http://orcid.org/0000-0002-8710-2135

Михаил Флоридович Цой, кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 302530 Россия, Орловская область, Орловский район, д. Жилина, nauka@vniispk.ru, https://orcid.org/0000-0003-4692-632X

Любовь Игоревна Масалова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 302530 Россия, Орловская область, Орловский район, д. Жилина, masalova@orel.vniispk.ru, http://orcid.org/0000-0001-6987-3705

Information about the authors

Olga Yu. Emelyanova, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina Village, Orlovsky District, Orel Province 302530, Russia, dendrariy@orel.vniispk.ru, http://orcid.org/0000-0002-8710-2135

Mikhail F. Tsoy, Cand. Sci. (Agriculture), Deputy Director, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina Village, Orlovsky District, Orel Province 302530, Russia, nauka@vniispk.ru, https://orcid.org/0000-0003-4692-632X

Lyubov I. Masalova, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina Village, Orlovsky District, Orel Province 302530, Russia, masalova@orel.vniispk.ru, http://orcid.org/0000-0001-6987-3705

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.03.2024; одобрена после рецензирования 04.07.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 21.03.2024; approved after reviewing on 04.07.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 631.527.8+631.524.82
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-27-37

CC BY

Использование вида *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. для расширения генетического разнообразия яровой мягкой пшеницы

А. Е. Дружин, С. Н. Сибикеев, Л. В. Андреева

Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Евгеньевич Дружин, alex_druzhin@mail.ru

Актуальность. Вид *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. имеет ряд положительных признаков (качеств), но редко используются в селекционных программах по улучшению сортов мягкой пшеницы. Интрогрессия генетического материала от этого вида в генофонд *Triticum aestivum* L. не только позволит расширить генетическое разнообразие мягкой пшеницы по ряду признаков, но и поможет изучить экспрессию генов от *T. petropavlovskyi* в новой генетической среде.
Материалы и методы. Объектом изучения были линии яровой мягкой пшеницы Л163, Л164, созданные с участием сорта яровой мягкой пшеницы 'Воевода' и образца вида *T. petropavlovskyi*. Исследования включали фенологические, фитопатологические, генетические и технологические оценки, которые проводили по общепринятым методикам.
Результаты. Линии яровой мягкой пшеницы Л163, Л164 были изучены по морфологическим, фенологическим параметрам, устойчивости к патогенам, продуктивности и качеству зерна. Установлены различия по ряду признаков между линиями и сортом-реципиентом. Выделена линия Л163, которая отличается устойчивостью к возбудителям листовой ржавчины, мучнистой росы, толерантна к злаковой тле, сочетает высокую продуктивность с повышенным по сравнению с сортом-реципиентом содержанием белка в зерне и имеет хорошие реологические свойства теста.
Заключение. Комбинация генетического материала от *T. petropavlovskyi* и яровой мягкой пшеницы сорта 'Воевода' позволила создать линии, имеющие ряд положительных характеристик. Выделенная линия Л163, сочетающая в себе эффективную устойчивость к ряду заболеваний, продуктивность зерна и качество получаемой продукции, была включена в селекционный процесс.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., пшеница Петропавловского, интрогрессия генов, устойчивость к болезням, хозяйственно полезные признаки

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 123011900038-8 «Создание и совершенствование системы видов и сортов (гибридов) сельскохозяйственных культур, адаптивных к абиострессорам и устойчивых к основным патогенам, сочетающих высокую потенциальную продуктивность с качеством урожая, с целью снижения экономических рисков в растениеводстве и повышения биоразнообразия в регионе».
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Дружин А.Е., Сибикеев С.Н., Андреева Л.В. Использование вида *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. для расширения генетического разнообразия яровой мягкой пшеницы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):27-37. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-27-37

© Дружин А.Е., Сибикеев С.Н., Андреева Л.В., 2024

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-27-37

The use of the species *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. to expand the genetic diversity of spring bread wheat

Alexander E. Druzhin, Sergey N. Sibikeev, Lubov V. Andreeva

Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia

Corresponding author: Alexander E. Druzhin, alex_druzhin@mail.ru

Background. The species *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. has a number of positive traits, but has rarely been used in breeding programs to improve bread wheat cultivars. The introgression of genetic material from this species into the *Triticum aestivum* L. gene pool will not only expand the genetic diversity of bread wheat with a set of traits valuable for breeders, but also help to analyze the expression of genes from *T. petropavlovskyi* in a new genetic environment.
Materials and methods. Spring bread wheat lines L163 and L164 produced with the participation of bread wheat cv. 'Voevoda' and an accession of *T. petropavlovskyi* were target materials of the study. Conventional methods were applied to perform phenological, phytopathological, genetic, and bread quality evaluations. Statistical processing of the resulting data was carried out using the Agros-2.10 software.
Results. L163 and L164 were studied for their morphological and phenological indicators, resistance to pathogens, productivity, and grain quality. Differences in a number of traits between the lines and the recipient cultivar were observed. The introgression of the *T. petropavlovskyi* genetic material into bread wheat showed both positive and negative effects on some agronomic characteristics. L163 was identified for its resistance to the pathogens of leaf rust and powdery mildew, and tolerance to cereal aphids. It combined high productivity with an increased grain protein content compared to the recipient cultivar. In addition, this line demonstrated good rheological properties of its dough.
Conclusion. Merging genetic materials from *T. petropavlovskyi* and bread wheat cv. 'Voevoda' made it possible to produce lines with a set of positive characteristics. The selected line, L163, combined effective resistance to a number of diseases, high grain productivity, and good breadmaking qualities, so it was included in the breeding process.

Keywords: *Triticum aestivum* L., *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch., gene introgression, disease resistance, useful agronomic traits

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the state task, Project No. 123011900038-8 "Development and improvement of the system of crop species and cultivars (hybrids) adaptive to abiostressors and resistant to major pathogens, combining high potential productivity with harvest quality, in order to reduce economic risks in crop production and increase biodiversity in the region".
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Druzhin A.E., Sibikeev S.N., Andreeva L.V. The use of the species T*riticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. to expand the genetic diversity of spring bread wheat. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):27-37. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-27-37

Введение

Пшеница Петропавловского (*Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch.) (геном BBA^{u}A^{u}DD, 2n = 42), названая в честь Михаила Федоровича Петропавловского, соратника Н. И. Вавилова, известна как синьцзянская рисовая пшеница; она представляет собой уникальный китайский эндемичный вид пшеницы. Экотип приспособлен к выращиванию на орошении в условиях знойного и сухого климата. В нашу страну этот вид из Китая впервые был ввезен А. М. Горским в 1957 г. (Yakubtsiner, 1959) и на данный момент является малоизученным видом (Efremova et al., 2000).

Работа по комплексному изучению хозяйственно-биологических особенностей *T. petropavlovskyi* проводилась в 1990-е годы во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова кандидатом сельскохозяйственных наук Е. В. Зуевым. Он изучал комбинативную способность вида при межвидовых скрещиваниях и выделил перспективные для селекции образцы и гибридные семьи. Установлено, что этот вид практически не скрещивается с тетраплоидными (A^{b}G) видами пшеницы (*T. araraticum* Jakubz.); при скрещивании с тетраплоидными видами, несущими геном A^{u}B (*T. dicoccum* Schrank ex Schübl., *T. dicoccoides* (Körn. ex Asch. & Graebn.) Schweinf.), завязываемость гибридных зерен колебалась от 16,2 до 72,2%. При скрещивании этого вида с гексаплоидными видами, несущими геном BBA^{u}A^{u}DD (*T. vavilovii* (Thum.) Jakubz., *T. aestivum* L.), процент завязываемости колебался от 37,0 до 95,3%. Отмечено, что растения этого вида довольно высокорослые (до 150 см), колос остистый, грубый, рыхлый. Тип развития яровой, среднепозднеспелый, но растения хорошо перезимовывают в условиях Средней Азии. В основном представители этого вида слабозасухоустойчивы, но отличаются высокой жаростойкостью и солеустойчивостью, обладают сильной фотопериодической чувствительностью, имеют повышенную эффективность фотосинтетической активности колоса за счет длинных колосковых чешуй. У этого вида выявлен ген красного хлороза *Chl1* (Zuev, 1992).

Исследования по морфологии и цитогенетике показали, что вид *T. petropavlovskyi*, вероятно, произошел от естественного скрещивания *T. aestivum* и *T. polonicum* L. (Chen et al., 2016). Одной из отличительных особенностей вида *T. petropavlovskyi* является наличие удлиненных колосковых чешуй; этот признак контролируется геном *P1pet*, расположенным на хромосоме 7A (Wang et al., 2002). Установлено, что этот ген *T. petropavlovskyi* получил от тетраплоидной польской пшеницы (*T. polonicum*) (Masum Akond et al., 2008; Chen et al., 2016). Ген *P1pet* оказывает плейотропный эффект в виде увеличения длины колоса, длины зерновки и массы 1000 зерен, а также снижения фертильности, числа зерен в колосе и длины остей (Okamoto et al., 2013), что указывает на плейотропное влияние *P1pet* на признаки, связанные с урожайностью зерна.

Сравнительный генетический анализ образцов видов *T. petropavlovskyi* и *T. aestivum* выявил, что как минимум 13 генов, определяющих морфологические и физиологические признаки у пшеницы Петропавловского, являются аллельными соответствующим генам мягкой пшеницы, отвечают за те же признаки и локализованы в тех же хромосомах. В частности, это гены, контролирующие следующие признаки: *Hg1* – опушение колосковой чешуи (хромосома 1A) (Luo et al., 2022); *Rg1* – красную окраску колосковой чешуи (хромосома 1B); *Pa* – наличие опушения на ушках листового влагалища (хромосома 4B); *Hl* – опушение листа (хромосома 4B); *Hn* – опушение узла стебля (хромосома 5A); *Q* – спельтоидность колоса (хромосома 5A); *D1* – гибридную травянистую карликовость (хромосома 2D); *Ne* – гибридный некроз (хромосома 5B); *Ph1*, *Ph2* – гены гомологичной конъюгации, препятствующие спариванию гомеологичных хромосом (хромосома 5B, 3D); *Vrn1*, *Vrn2*, *Vrn3* и *Vrn4* – чувствительность к яровизации (хромосома 5A, 5B) (Efremova et al., 2000).

Исследования влияния признака опушения влагалища флагового листа, проведенные с использованием изогенной линии яровой мягкой пшеницы АНК-25B (контролируется геном *Pa*, источник признака – образец к-43376 вида *T. petropavlovskyi*), в засушливых условиях выявили положительное влияние на ряд показателей (высоту растения и продолжительность периода от всходов до колошения, массу зерна с растения, продуктивную кустистость), однако в условиях избыточного увлажнения отмечен отрицательный эффект по данным признакам (Truschenko, Shamanin, 2015).

Анализ гибридов между мягкой пшеницей сорта ‘Северянка’ и пшеницей Петропавловского (к-43376) не установил связи между генами опушения колосковых чешуй и окраски колоса с показателями качества. Также было установлено, что у исследуемого образца *T. petropavlovskyi* аллели глиадинов 1-й гомеологической группы схожи с аллелями обычной мягкой пшеницы – *Gli-A1p*, *Gli-B1n* и *Gli-D1a* (Fisenko et al., 2018).

Несмотря на многолетние исследования, происхождение *T. petropavlovskyi* все еще остается предметом дискуссий. Согласно литературным данным, которые основываются на исследованиях по морфологии растений, генетике, биохимии и физиологии, существует три гипотезы происхождения этого вида: 1) пшеница Петропавловского возникла вследствие мутации у вида *T. aestivum* (Efremova et al., 2000; Masum Akond, Watanabe, 2005); 2) *T. petropavlovskyi* – это независимый вид, образовавшийся в результате гибридизации и аллополиплоидизации между *T. polonicum* и *Aegilops tauschii* Cosson (Yang et al., 1992; Chen, 1999); 3) вид возник в результате естественного скрещивания *T. polonicum* и *T. aestivum* (Yakubtsiner, 1959; Watanabe, Imamura, 2002; Masum Akond et al., 2008).

По мнению Н. П. Гончарова, вид *T. petropavlovskyi* не обладает комплексом признаков, чтобы быть признанным отдельным видом, и его лучше рассматривать как подвид *T. aestivum* (*T. aestivum* subsp. *petropavlovskyi* (Udacz. et Migusch.) N.P. Gontsch.) (Goncharov, 2012).

В этой связи, по нашему мнению, пока научное сообщество не пришло к единому мнению относительно идентификации *T. petropavlovskyi*, его следует рассматривать как отдельный вид.

Несмотря на ряд недостатков (полегание, слабую устойчивость к болезням и вредителям) (Berlyand-Kozhevnikov, 1978; Fuo, Goncharov, 2019), пшеница Петропавловского представляет интерес для селекции в качестве источника других хозяйственно-биологических признаков, в том числе таких как мощный начальный рост и габитус растения, сочетание крупнозерности при довольно хорошей озерненности колоса, а также жаростойкость и солеустойчивость (Zuev, 1992).

Есть исследования, которые указывают, что потенциал этого вида полностью еще не раскрыт, в частности были выделены образцы, толерантные к желтой ржавчине (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) (Li et al., 2020).

В наших пребридинговых исследованиях установлено, что *T. petropavlovskyi* может также нести не идентифицированные пока гены устойчивости к листовой ржавчине (Gultyaeva et al., 2020). *С целью дальнейшего расширения этой работы* мы изучили линии яровой мягкой пшеницы, полученные с участием пшеницы Петропавловского, по комплексу признаков. Результаты этих исследований представлены в данной статье.

Материалы и методы

Исследования проводили в вегетационные сезоны 2019–2023 гг. на опытном поле Федерального аграрного научного центра Юго-Востока (ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов), предшественник – черный пар, почва – выщелоченный чернозем, географические координаты: широта – 51.599, долгота – 46.043. Метеорологические условия вегетационных периодов различались по температурным и водным режимам. Наиболее благоприятными по количеству осадков и температурному режиму были 2022 г. (гидротермический коэффициент (ГТК): май – 0,8; июнь – 0,55; июль – 1,1; август – 0,2) и 2023 г. (ГТК: май – 0,8; июнь – 1,1; июль – 0,6; август – 0,4). Умеренно засушливыми были 2020 г. (ГТК: май – 0,5; июнь – 0,7; июль – 0,6; август – 0,2) и 2021 г. (ГТК: май – 0,7; июнь – 1,1; июль – 0,6; август – 0,04), а 2019 г. характеризовался сильной засухой (ГТК: май – 0,5; июнь – 0,5; июль – 0,3; август – 0,1).

В изучение были включены следующие генотипы: сорт яровой мягкой пшеницы 'Воевода' = Л504/Краснокутка10//Л504/3/Л400 (ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока»), а также линии, полученные от скрещивания этого сорта с образцом вида *T. petropavloskyi*, любезно предоставленным С. А. Степановым, доктором биологических наук, профессором Саратовского национального исследовательского университета имени Н.Г. Чернышевского: Л163 (Воевода/*T. petropavloskyi*//Воевода) и Л164 (Воевода/*T. petropavloskyi*//Воевода/3/Воевода).

Оценку устойчивости к заболеваниям (листовая и стеблевая ржавчина, мучнистая роса) проводили как на естественном инфекционном фоне в поле, так и в лабораторных условиях. Степень развития листовой ржавчины (*Puccinia triticina* f. sp. *tritici* Erikss.) и мучнистой росы (*Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Marchal) в посевах ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов) в 2022 и 2023 г. оценивалась как средняя, а в 2020 г. отмечена стеблевая ржавчина (*Puccinia graminis* Rers. f. sp. *tritici* Erikss. et Henn.), которая достигала средней степени развития. В 2021 г. наблюдалось сильное заселение посевов обыкновенной злаковой тлей *Schizaphis graminum* Rond.

Для оценки устойчивости к возбудителю листовой ржавчины использовали шкалу E. B. Mains и H. S. Jackson (1926). Растения с типом реакции 0, 0; 1, 2 считали устойчивыми, а 3, 4 и X – восприимчивыми. Тип реакции растений на заражение возбудителем мучнистой росы определяли по шкале E. B. Mains, S. M. Dietz (1930). Растения с типом реакции 0 считаются высокоустойчивыми, 1 – устойчивыми, 2 – среднеустойчивыми, 3 – умеренно восприимчивыми, 4 – восприимчивыми. Оценку устойчивости к местной популяции возбудителя стеблевой ржавчины проводили по модифицированной шкале Кобба и реакции хозяина на внедрение патогена: R = устойчивый – 1 балл; TR = единичные пустулы, некротичные пятна, устойчивый – 1 балл; MR = умеренно устойчивый – 2 балла; MS = умеренно восприимчивый – 2–3 балла; M = промежуточный между устойчивым и восприимчивым – 2–3 балла; MSS = от умеренно восприимчивого до восприимчивого – 4 балла; TS = единичные пустулы, восприимчивый – 3–4 балла; S = восприимчивый – 4 балла (Roelfs et al., 1992).

Учет численности тлей на посевах проводили по модифицированной шкале ВИЗР для оценки степени заселения колосьев: (0) – растения не заселены тлей; 1 (1) – единичные особи на колосе; (2) – единичная небольшая колония (3–6 особей) на колосе; 3 (3) – колония (10–15 особей) занимает 1/4 колоса; 5 (4) – несколько колоний (20–30 особей) занимают 1/2 колоса; 7 (5) – несколько слившихся вместе колоний (30–50 особей) занимают 3/4 колоса; 9 (6) – весь колос усыпан тлями (более 50 особей) (Radchenko, 2008).

Изучение линий Л163, Л164 по хозяйственно полезным свойствам проводили в 2019–2023 гг. по методике Госсорткомиссии РФ (Fedin, 1989). Для оценки морфологических признаков использовали методику, принятую для Госсорткомиссии РФ, основанную на методике UPOV (https://gossortrf.ru/publication/metodiki-ispytaniy-na-oos.php). Устойчивость к полеганию определяли по пятибалльной шкале, где неполегающие сорта оцениваются на 5 баллов; сорта, выпрямившиеся после полегания или полегшие в слабой степени – 4 балла; сорта, полегшие в средней степени – 3 балла; сорта, сильно полегшие, затрудняющие механизированную уборку – 2 балла; сорта, сильно полегшие задолго до уборки и непригодные к механизированной уборке – 1 балл. Также проводились замеры высоты растений и учет показателей продуктивности.

Материал высевали в оптимальные сроки на семи рядковых делянках площадью 7 м^2 в 4-кратной повторности. Норма высева – 400 семян/м^2. Уборку осуществляли комбайном Hege 125 B.

Анализ качества зерна и теста проводили в лаборатории оценки качества зерна ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов) по принятой для Госсорткомиссии РФ методике (Fedin, 1989). Содержание белка в зерне (%) определяли на приборе Infratec TM 1241 (Дания), качество и количество сырой клейковины – на приборе ИДК-3 (Россия). На альвеографе Chopin (Франция) определялись реологические свойства теста: P – упругость теста; P/L – отношение упругости теста к растяжимости; W – сила муки. Кроме того, выпекали экспериментальные хлебцы и оценивали объем хлеба и цвет мякиша. Полученные данные подвергали дисперсионному анализу и множественному сравнению по критерию Дункана, используя пакет селекционно-генетических программ Agros-2.10.

Результаты и обсуждение

***Создание и описание линий яровой мягкой пшеницы с интрогрессиями от Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch.**

Для создания интрогрессивных линий в качестве материнской формы был выбран сорт яровой мягкой пшеницы 'Воевода' – разновидность *lutescens* Al. Согласно методике UPOV, принятой для Госсорткомиссии РФ, сорт имеет форму куста полупрямостоячую, форму колоса пирамидальную, колос от рыхлого до средней плотности, колосковые чешуи белые, зерновки красные, длина колоса – 10–12 см., масса 1000 зерен – 27–38 г. Он содержит замещение 6D (6Ag^i) от *Agropyron intermedium* (Host) P. Beauv., устойчив к листовой ржавчине, слабо поражается мучнистой росой, восприимчив к стеблевой ржавчине

(Sibikeev et al., 2017). Сорт среднеспелый, засухоустойчивый. В качестве отцовской формы использовался образец вида *T. petropavloskyi.* Растения данного образца имеют высоту до 115 см, форма куста полупрямостоячая, колос рыхлый, длиной до 15 см, колосковые чешуи грубые, ости черные, колосковые чешуи красные, опушенные, удлиненные, зерновки красные, удлиненно-овальной формы, довольно крупные. Масса 1000 зерен колебалась по годам от 39 до 47 г, число зерен в колосе колебалось от 18 до 22 шт. Образец в условиях г. Саратова оказался восприимчив к листовой и стеблевой ржавчинам, мучнистой росе (табл. 1). Характеризуется мощным начальным ростом, позднеспелый.

Оценка растений F_1 по реакции на заражение *Puccinia triticina* f. sp. *tritici* показала, что все растения были устойчивы к патогену и имели тип реакции IT = 0.

После беккроссирования растений F_1 сортом ‘Воевода’ из гибридной популяции F_1BC_1 выделено растение, которое оставили на дальнейшее самоопыление с последующим отбором из него образца, ставшего линией Л163. Линия Л163 остистая, ости белые, зерновки красные, колосковые чешуи белые, не удлиненные, без опушения, грубые, разновидность – *erythrospermum* Körn. (рис. 2). Остистость у этой линии, вероятно, обусловлена наличием рецессивного аллеля гена *b1.ag*, который находится на хромосоме 5AL (Dobrovolskaya et al., 2020).

Таблица 1. Характеристика линий яровой мягкой пшеницы и их родительских форм по устойчивости к заболеваниям и вредителям (2019–2023 гг., Саратов)

Table 1. Characterization of spring bread wheat lines and their parent forms according to disease and pest resistance (2019–2023, Saratov)

Сорт, вид, линия	*Puccinia triticina*	*Blumeria graminis*	*Puccinia graminis*	*Schizaphis graminum*
	(тип реакции, балл)			
‘Воевода’	0	1	3	5
Triticum petropavlovskyi	3	3	3	–
Л163	0	1	3	2
Л164	0	3	3	5

Изучение гибридов F_1 от скрещивания сорта ‘Воевода’ с образцом *T. petropavloskyi* по морфологическим признакам показало, что все растения были безостые, колос длинный и рыхлый, с опушенными колосковыми чешуями, красной окраски (рис. 1), с опушенной листовой пластинкой, что согласуются с литературными данными по наследованию некоторых признаков от *T. petropavloskyi* (Efremova et al., 2000).

Из гибридной популяции F_1BC_1 также выделен безостый образец с белым опушенным колосом; по нему провели 2-е и 3-е беккросирование сортом ‘Воевода’ с постоянным отбором безостых растений с опушенными колосковыми чешуями. В результате была выделена линия Л164. Эта линия безостая, зерновки красные, колосковые чешуи не удлиненные, с опушением, разновидность – *leucospermum* Körn. (см. рис. 2).



Рис. 1. Колосья и зерновки: 1 – *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. (♂); 2 – гибрид F_1; 3 – сорт яровой мягкой пшеницы ‘Воевода’ (♀)

Fig. 1. Ears and grains: 1 – *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. (♂); 2 – the F_1 hybrid; 3 – spring bread wheat cv. ‘Voevoda’ (♀)



Рис. 2. Колосья и зерновки: 1 – Л163 (слева); 2 – Л164 (справа)
Fig. 2. Ears and grains: 1 – L163 (left); 2 – L164 (right)

Влияние интрогрессий от Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. *на хозяйственно полезные признаки у линий яровой мягкой пшеницы

Оценка линий по устойчивости к возбудителю листовой ржавчины (*Puccinia triticina* f. sp. *tritici*) в фазе проростков показала, что линии Л163 и Л164 устойчивы к патогену (см. табл. 1). Устойчивость у них обусловлена геном *Lr6Agi* от сорта 'Воевода', но нельзя исключать и комбинацию этого гена с не идентифицированными *Lr*-генами от *T. petropavloskyi*, что косвенно подтверждается проведенными ранее исследованиями (Gultyaeva et al., 2020). Ген *Lr6Agi*, перенесенный в геном *T. aestivum* от *Agropyron intermedium*, при замещении хромосомой $6Ag^{i}$ пырея промежуточного пшеничной хромосомы 6D является высокоэффективным на всей территории России, а *Lr*-ген(ы) от *T. petropavlovskyi* оказался (оказались) не эффективным(и) против ряда патотипов патогена, кроме тест-клона из Тамбовской области, что подтверждает наличие у этого образца *T. petropavloskyi* не идентифицированного расоспецифического *Lr*-гена (Gultyaeva et al., 2020).

Установлено, что линия Л163 поражается возбудителями мучнистой росы (*Blumeria graminis*) и стеблевой ржавчины (*Puccinia graminis*) на уровне сорта реципиента 'Воевода', а линия Л164 оказалась более восприимчива к мучнистой росе, поразилась на уровне *T. petropavlovskyi*, а стеблевой ржавчиной поражалась как сорт-реципиент и образец *T. petropavlovskyi*. В 2021 г. на опытных полях ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов) наблюдалось сильное заселение посевов пшеницы злаковой тлей (*Schizaphis graminum*): некоторые сорта и линии яровой мягкой пшеницы так сильно были повреждены вредителем, что с них даже не смогли собрать урожай. В этих условиях линия Л163 была более устойчива к заселению злаковой тлей, чем линия Л164 и сорт 'Воевода' (см. табл. 1). Это, по-видимому, связано с тем, что у линии Л163 более грубые колосковые чешуи, поэтому насекомые менее охотно заселяли растения этой линии. На устойчивость вида *T. petropavlovskyi* к большой злаковой тле (*Sitobion avenae* F.) в условиях ограниченного распространения вредителя указывал в своей работе Е. Е. Радченко, но в условиях высокой популяции тли резистентность отсутствовала (Radchenko, 2011).

Продолжительность межфазного периода «всходы – колошение» в среднем за 5 лет у линий Л163, Л164 составила 47 дней, что на два дня длиннее, чем у сорта-реципиента 'Воевода', и на 4 дня короче, чем у образца *T. petropavlovskyi.* Таким образом, линии по этому признаку заняли промежуточное положение (табл. 2). По высоте растений была обнаружена трансгрессия – так, линия Л163 имела высоту 85 см и была значимо ниже, чем сорт 'Воевода' (91 см) и образец *T. petropavloskyi* (100 см); линия Л164 также была значимо ниже (87 см), чем образец *T. petropavlovskyi*, но статистически не отличалась от сорта 'Воевода'. Устойчивость к полеганию линий Л163 и Л164 была на уровне сорта 'Воевода' и составила 4,1, 4,2 и 4,0 балла соответственно, а у образца *T. petropavloskyi* этот показатель составил 3,8 балла (см. табл. 2). Следовательно, интрогрессии от *T. petropavloskyi* значимо не изменили этот показатель у линий по сравнению с реципиентом.

Анализ продуктивности показал, что в среднем за пять лет линия Л163 по продуктивности зерна была на уровне сорта 'Воевода', а линия Л164 значимо уступила как Л163, так и реципиенту, кроме вегетационного сезона 2022 г., когда она значимо от них не отличалась (табл. 3). Необходимо отметить, что линия Л163 имела в засушливый год (2019) урожай зерна на уровне сорта 'Воевода'. В то же время в благоприятные годы (2022, 2023) она была по продуктивности на уровне реципиента, а в 2020 г. значимо превысила его. Как было отмечено выше, линия Л163 оказалась более устойчива к заселению тлей, что отразилось и на продуктивности в 2021 г., когда она значимо превысила по этому показателю сорт 'Воевода' и Л164.

Таблица 2. Характеристика линий яровой мягкой пшеницы и их родительских форм по морфологическим и фенологическим параметрам (2019–2023 гг., Саратов)

Table 2. Characterization of spring bread wheat lines and their parent forms according to morphological and phenological indicators (2019–2023, Saratov)

Сорт, линия	Год					среднее
	2019	2020	2021	2022	2023	
Высота растений, см						
'Воевода'	76,67b	105,50b	80,00b	94,70b	97,00b	90,77b
T. petropavlovskyi	88,50c	110,50c	100,50c	100,70c	102,50c	100,54c
Л163	66,17a	99,83a	79,70b	86,30a	93,80a	85,16a
Л164	69,33ab	105,00b	76,50a	91,70b	96,00ab	87,71ab
$\bar{x}$						91,05
$S\bar{x}$						1,823
НСР						5,617
Fф						13,639
Устойчивость к полеганию, балл						
'Воевода'	3,93b	4,20b	4,13b	4,20b	3,87b	4,07b
T. petropavlovskyi	3,8a	3,9a	3,9a	3,8a	3,5a	3,78a
Л163	4,13c	4,20b	4,20c	4,20b	3,93bc	4,13c
Л164	4,07c	4,40c	4,20c	4,30c	4,00c	4,19c
$\bar{x}$						4,043
$S\bar{x}$						0,028
НСР						0,087
Fф						41,543
Продолжительность периода «всходы – колошение», дней						
'Воевода'	42a	48a	39a	47a	49a	45,0a
T. petropavlovskyi	47c	55c	45c	53c	57c	51,4c
Л163	44b	51b	40a	48a	50ab	46,6b
Л164	44b	51b	40a	48a	51b	46,8b
$\bar{x}$						47,45
$S\bar{x}$						0,414
$НСР_{05}$						1,277
Fф						49,79

Примечание: числа в колонках, сопровождаемые различными буквами, различаются при уровне значимости 0,05, согласно множественным сравнениям по Дункану;

Note: the numbers in the columns accompanied by different letters differ at a significance level of 0.05 according to multiple comparisons by Duncan;

Таблица 3. **Характеристика линий и сорта ‘Воевода’ яровой мягкой пшеницы по продуктивности зерна** (2019–2023 гг., Саратов)

Table 3. **Characterization of spring bread wheat lines and cv. ‘Voevoda’ according to grain productivity** (2019–2023, Saratov)

Сорт, линия	Год					среднее
	2019	2020	2021	2022	2023	
Продуктивность зерна, кг/га						
‘Воевода’	1590b	2734b	636b	3271ns	3296b	2305,4b
Л163	1504b	3152c	869c	3221ns	3275b	2404,2b
Л164	1227a	2214a	358a	3236ns	3068a	2020,6a
$\bar{x}$						2243,4
$S\bar{x}$						83,797
$НСР_{05}$						573,276
Fф						5,650
Масса 1000 зерен, г						
‘Воевода’	29,8	30,9	27,0	32,1	34,2	30,80ab
Л163	32,4	30,6	28,7	34,2	34,8	31,94b
Л164	28,6	28,7	24,1	32,6	32,0	29,20a
$\bar{x}$						30,513
$S\bar{x}$						0,516
$НСР_{05}$						1,684
Fф						5,367

Примечание: числа в колонках, сопровождаемые различными буквами, различаются при уровне значимости 0,05, согласно множественным сравнениям по Дункану; ns – значимо не различаются

Note: the numbers in the columns accompanied by different letters differ at a significance level of 0.05 according to multiple comparisons by Duncan; ns – nonsignificant differences

T. petropavloskyi считается перспективным источником повышения массы 1000 зерен (Zuev, 1992). В наших исследованиях у растений в поколении F_1 масса 1000 зерен была 37,0 г, у сорта-реципиента ‘Воевода’ – 30,1 г, у *T. petropavlovskyi* – 39,6 г, следовательно гибрид F_1 по этому показателю оказался ближе к пшенице Петропавловского, а полученные результаты согласуется с литературными данными (Zuev, 1992). Линия Л163 (отобранная из гибридной популяции F_1BC_1) имела массу 1000 зерен в среднем за годы испытания уже 31,9 г, что значимо выше, чем у линии Л164 (28,2 г). Сорт ‘Воевода’ занял по этому показателю промежуточное положение и значимо от этих линий не отличался (см. табл. 3). Невысокую массу 1000 зерен у линий Л163 и Л164 по сравнению с этим показателем у растений в поколении F_1 можно объяснить тем, что в ходе беккросса и дальнейшего отбора признак высокой массы 1000 зерен слабо учитывался, а на первое место ставились признаки адаптивности, урожайности и устойчивости растений к болезням.

Пшеница Петропавловского представляет интерес как исходный материал для селекции высококачественных сортов пшеницы. Известно, что этот вид накапливает 15,7–20,1% белка, 0,55% лизина и отличается уникальным сочетанием высоких хлебопекарных качеств зерна (Zuev, 1992; Fu, Goncharov, 2019). Изучаемый нами образец *T. petropavloskyi* содержит 17,8% белка в зерне. К сожалению, по остальным показателям анализ не проводился. Оценка изучаемых линий на содержание белка в зерне показала, что Л163 значимо превышает по этому показателю как сорт ‘Воевода’, так и линию Л164, причем последняя практически не отличалась от реципиента. Необходимо отметить положительное качество линии Л163, которая, имея одинаковую продуктивность с сортом ‘Воевода’, содержит более высокий процент белка в зерне. По содержанию клейковины линии Л163 и Л164 практически не отличались от сорта ‘Воевода’. Также не выявлено статически значимых различий между ними и по качеству клейковины (табл. 4).

Таблица 4. **Характеристика линий и сорта ‘Воевода’ яровой мягкой пшеницы по хлебопекарным качествам, в среднем за 2019–2023 гг., Саратов**

Table 4. **Characterization of spring bread wheat lines and cv. ‘Voevoda’ according to baking qualities, average for 2019–2023, Saratov**

Сорт, линия	Клейковина		Белок,%	P, мм	P/L	W, е. а.	V, $см^3$	Цвет мякиша
	%	ИДК-3						
‘Воевода’	33,80 ns	84,94 ns	15,70a	71,94a	1,19a	175a	766 ns	белый
Л163	33,98 ns	79,72 ns	16,97b	94,18b	1,76b	218b	723 ns	белый
Л164	33,28 ns	86,38 ns	15,87a	101,18b	1,73b	228b	728 ns	белый
$\bar{x}$	33,67	83,92	16,18	89,10	1,56	207,13	739	
$S\bar{x}$	3,687	2,761	2,783	2,031	1,260	12,783	3,267	
$НСР_{05}$	ns	ns	0,322	21,568	0,216	41,687	ns	
Fф	1,635	1,886	5,486	4,872	5,263	4,775	1,368	

Примечание: числа в колонках, сопровождаемые различными буквами, различаются при уровне значимости 0,05; ns – значимо не различаются; P – упругость теста; P/L – отношение упругости теста к растяжимости; W – сила муки; V – объем хлеба

Note: the numbers in the columns accompanied by different letters differ at a significance level of 0.05; ns – nonsignificant differences; P – dough elasticity; P/L – dough elasticity/extensibility ratio; W – flour strength; V – bread volume

Отмечено значимое отличие линий Л163 и Л164 по упругости теста (P) и отношению упругости к растяжимости (P/L) от сорта ‘Воевода’. Интрогрессия от изучаемого образца *T. petropavloskyi* значимо улучшила силу муки у линий по сравнению с сортом ‘Воевода’. По показателю объема хлеба линии и сорт-реципиент между собой значимо не различались.

Заключение

В результате интрогрессии генетического материала от образца вида *T. petropavloskyi* в сорт яровой мягкой пшеницы ‘Воевода’ были получены линии Л163 и Л164, имеющие ряд положительных качеств. Они показали устойчивость к листовой ржавчине, а линия Л163 проявила также устойчивость к мучнистой росе. Устойчивость к листовой ржавчине обусловлена наличием у них гена *Lr6Ag*^{i} либо комбинацией этого гена с не идентифицированными *Lr*-генами от *T. petropavloskyi*. Выявлено, что линия Л163 была более устойчива к заселению злаковой тлей, чем линия Л164 и сорт ‘Воевода.

У линий Л163 и Л164 продолжительность периода «всходы – колошение» по сравнению сортом ‘Воевода’ на 2 дня больше, по высоте растений отмечена трансгрессия: линия Л163 значимо ниже, чем сорт-реципиент (*T. aestivum*) и Л164. По устойчивости к полеганию линии и сорт-реципиент практически не различались. По массе 1000 зерен линия Л163 значимо превосходила Л164, а также имела преимущество перед сортом ‘Воевода’, но незначительное. По продуктивности линии в среднем за 5 лет изучения значимо различались между собой: так, линия Л164 была менее продуктивной и уступала по этому показателю как линии Л163, так и сорту ‘Воевода’; последние между собой значимо не различались.

Установлено, что линия Л163 значимо превышает по содержанию белка в зерне как сорт ‘Воевода’, так и линию Л164, причем последняя практически не отличалась от реципиента. Не выявлено значимых различий между линиями и сортом ‘Воевода’ по количеству и качеству клейковины, а также по объему хлеба. В то же время интрогрессия генетического материала от образца вида *T. petropavloskyi* в сорт ‘Воевода’ значимо улучшила реологические свойства теста, в том числе по показателю «сила муки».

Следует выделить линию Л163, которая имеет ряд преимуществ перед сортом-реципиентом и сочетает высокую продуктивность с повышенным содержанием белка в зерне и хорошими реологическими свойствами теста. Благодаря данным свойствам линию Л163 включили в селекционно-генетические исследования с целью дальнейшего улучшения сортов яровой мягкой пшеницы. Полученные положительные результаты по интрогрессии генного материала от *T. petropavloskyi* в *T. aestivum* позволили расширить генетическую изменчивость у мягкой пшеницы и обогатить местный сортимент новым исходным материалом для решения селекционных задач.

References / Литература

Berlyand-Kozhevnikov V.M., Dmitriyev A.P., Budashkina E.B., Shitova I.T., Reyter V.G. Resistance of wheat against leaf rust (Genetic diversity of the fungus’ populations and the host plant) (Ustoychivost pshenitsy k buroy rzhavchine [Geneticheskoye raznoobraziye populyatsiy griba i rasteniya-khozyaina]). Novosibirsk: Nauka; 1978. [in Russian] (Берлянд-Кожевников В.М., Дмитриев А.П., Будашкина Е.Б., Шитова И.П., Рейтер Б.Г. Устойчивость пшеницы к бурой ржавчине (Генетическое разнообразие популяций гриба и растения-хозяина). Новосибирск: Наука; 1978).

Chen Q., Song J., Du W.P., Xu L.Y., Yu G.R. Possible origin of *Triticum petropavlovskyi* based on cytological analyses of crosses between *T. petropavlovskyi* and tetraploid, hexaploid, and synthetic hexaploid (SHW-DPW) wheat accessions. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2016;14(4):e0713. DOI: 10.5424/sjar/2016144-8476

Chen Q.F. Discussion on origin of Chinese endemic wheat. *Guizhou Agricultural Sciences*. 1999;27:20-25.

Dobrovolskaya O.B., Dresvyannikova A.E., Badaeva E.D., Popova K.I., Trávníčková M., Martinek P. The study of genetic factors that determine the awned glume trait in bread wheat. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*.

2020;24(6):568-574. [in Russian] (Добровольская О.Б., Дресвянникова А.Е., Бадаева Е.Д., Попова К.И., Травничкова М., Мартинек П. Изучение генетических факторов, определяющих признак «тетраостость» мягкой пшеницы. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020;24(6):568-574). DOI: 10.18699/VJ20.650

Efremova T.T., Maystrenko O.I., Laikova L.I., Arbuzova V.S., Popova O.M. Comparative genetic analysis of hexaploid wheats *Triticum petropavlovskyi* Udasz. et Migusch. and *Triticum aestivum* L. *Russian Journal of Genetics*. 2000;36(10):1142-1148.

Fedin M.A. (ed.). Methodology for state crop variety trials. First issue. General provisions (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Vypusk pervy. Obshchaya chast). Moscow: State Commission for Crop Variety Trials; 1989. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый. Общая часть / под ред. М.А. Федина. Москва: Госкомиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур; 1989).

Fisenko A. V., Upelniek V. P., Kalmykova L. P., Kuznetsova N. L., Dragovich A.Yu. Relationship between the gliadin composition, ear morphology and grain quality of spring wheat. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018;32(9):24-27. [in Russian] (Фисенко А.В., Упелниек В.П., Калмыкова Л.П., Кузнецова Н.Л., Драгович А.Ю. Взаимосвязь между составом глиадинов, морфологией колоса и качеством зерна у яровой пшеницы. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(9):24-27). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10906

Fu H., Goncharov N.P. Endemic wheats of China as resources for breeding. *Plant Genetic Resources*. 2019;(25):11-25. [in Russian] (Фу Х., Гончаров Н.П. Эндемичные пшеницы Китая как ресурсы селекции. *Генетичні ресурси рослин*. 2019;(25):11-25). DOI: 10.36814/ pgr.2019.25.01

Goncharov N.P. Comparative genetics of wheats and their relatives (Sravnitelnaya genetika pshenits i ikh sorodichey). 2nd ed. Novosibirsk: Geo; 2012. [in Russian] (Гончаров Н.П. Сравнительная генетика пшениц и их сородичей. 2-е изд. Новосибирск: Гео; 2012).

Gultyaeva E.I., Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Shaydayuk E.L. Enlargement of genetic diversity of spring bread wheat resistance to leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) in Lower Volga region. *Agricultural Biology*. 2020;55(1):27-44. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.1.27eng

Li J., Jiang Y., Yao F., Long L., Wang Y., Wu Y. et al. Genome-wide association study reveals the genetic architecture of stripe rust resistance at the adult plant stage in Chinese endemic wheat. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:625. DOI: 10.3389/fpls.2020.00625

Luo W., Zhou J., Liu J., Liu Y., Mu Y., Tang H. et al. Fine mapping of the *Hairy glume* (*Hg*) gene in a chromosome variation region at the distal terminus of 1AS. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:1006510. DOI: 10.3389/fpls.2022.1006510

Mains E.B., Dietz S.M. Physiologic forms of barley mildew *Erysiphe graminis hordei. Phytopathology*. 1930;20(3):229-239.

Mains E.B., Jackson H.S. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat *Puccinia triticina* Erikss. *Phytopathology*. 1926;16(2):89-120.

Masum Akond A.S.M.G., Watanabe N. Genetic variation among Portuguese landraces of 'Arrancada' wheat and *Triticum petropavlovskyi* by AFLP-based assessment. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2005;52(5):619-628. DOI: 10.1007/s10722-005-6843-8

Masum Akond A.S.M.G., Watanabe N., Furuta Y. Comparative genetic diversity of *Triticum aestivum – Triticum polonicum* introgression lines with long glume and *Triticum petropavlovskyi* by AFLP-based assessment. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2008;55(1):133-141. DOI: 10.1007/s10722-007-9221-x

Okamoto Y., Takumi S. Pleiotropic effects of the elongated glume gene *P1* on grain and spikelet shape-related traits in tetraploid wheat. *Euphytica*. 2013;194(2):207-218. DOI: 10.1007/s10681-013-0916-0

Radchenko E.E. Cereal aphids (Zlakovye tli). In: *The study of the genetic resources of cereal crops for resistance to harmful organisms. Guidelines (Izucheniye geneticheskikh resursov zernovykh kultur po ustoychivosti k vrednym organizmam. Metodicheskoye posobiye)*. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences; 2008. p.214-257. [in Russian] (Радченко Е.Е. Злаковые тли. В кн.: *Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. Методическое пособие*. Москва: Россельхозакадемия; 2008. С.214-257).

Radchenko E.E. Resistance of *Triticum* species to cereal aphids. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2011;47(10):67-70. DOI: 10.17221/3257-CJGPB

Roelfs A.P., Singh R.P., Saari E.E. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. Mexico: CIMMYT; 1992. Available from: http://hdl.handle.net/10883/1153 [accessed May 22, 2024].

Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Badaeva E.D., Shishkina A.A., Dragovich A.Y., Gultyaeva E.I. et al. Comparative analysis of *Agropyron intermedium* (Host) Beauv. $6Ag^{i}$ and $6Ag^{i}2$ chromosomes in bread wheat cultivars and lines with wheat–wheatgrass substitutions. *Russian Journal of Genetics*. 2017;53(3):314-324. DOI: 10.1134/S1022795417030115

State Commission of the Russian Federation for Testing and Protecting Breeding Achievements. Testing methods at Experiment Stations (Gosudarstvennaya komissiya Rossiyskoy Federatsii po ispytaniyu i okhrane selektsionnykh dostizheniy): [website]. [in Russian] (Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений. Методики испытаний на ООС: [сайт]). URL: https://gossortrf.ru/publication/metodiki-ispytaniy-na-oos.php [дата обращения: 17.05.2024].

Truschenko A.Y., Shamanin V.P. Effects of morphological and biological characteristics of yield components and plant productivity in isogenic lines Novosibirsk 67. *Modern Problems of Science and Education*. 2015;(2-1):538. [in Russian] (Трущенко А.Ю., Шаманин В.П. Эффекты морфологических и биологических признаков по урожайности и элементам продуктивности растений у изогенных линий Новосибирская 67. *Современные проблемы науки и образования*. 2015;(2-1):538).

Wang H.J., Huang X.Q., Röder M.S., Börner A. Genetic mapping of loci determining long glumes in the genus *Triticum*. *Euphytica*. 2002;123:287-293. DOI: 10.1023/A:1014909331902

Watanabe N, Imamura I. Genetic control of long glume phenotype in tetraploid wheat derived from *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. *Euphytica*. 2002;128(2):211-217. DOI: 10.1023/A:1020829821620

Yakubtsiner M.M. More on Chinese wheats. *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1959;44(10):1425-1436. [in Russian] (Якубцинер М.М. К познанию пшеницы Китая. *Ботанический журнал*. 1959;44(10):1425-1436).

Yang W.Y., Yen C., Yang J.L. Cytogenetic study on the origin of some special Chinese landraces of common wheat. *Wheat Information Service*. 1992;75:14-20.

Zuev E.V. Economic and biological features of the wheat species *T. petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. (Khozyaystven-

no-biologicheskiye osobennosti vida pshenitsy *T. petropavlovskyi* Udacz. et Migusch.) [dissertation]. St. Petersburg: VIR; 1992. [in Russian] (Зуев Е.В. Хозяйственно-биологические особенности вида пшеницы *T. petropavlovskyi* Udacz. et Migusch.: дис. … канд. с.-х. наук. Санкт-Петербург: ВИР; 1992).

Информация об авторах

Александр Евгеньевич Дружин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, alex_druzhin@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3968-2470

Сергей Николаевич Сибикеев, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, sibikeev_sergey@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-8324-9765

Любовь Владимировна Андреева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, l.v.andreeva_75@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3631-1084

Information about the authors

Alexander E. Druzhin, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, alex_druzhin@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3968-2470

Sergey N. Sibikeev, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, sibikeev_sergey@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-8324-9765

Lubov B. Andreeva, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, l.v.andreeva_75@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3631-1084

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.03.2024; одобрена после рецензирования 16.07.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 21.03.2024; approved after reviewing on 16.07.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 633.853.52
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-38-49

CC BY

Влияние сроков посева на урожайность различающихся по скороспелости образцов сои (*Glycine max* (L.) Merr.) в климатических условиях Иркутской области

Н. Б. Катышева[1], А. В. Поморцев[1], Н. В. Дорофеев[1], С. Ю. Зорина[1], Л. Г. Соколова[1], А. С. Журавкова[1], Ю. С. Букин[2], А. И. Катышев[1]

[1] Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

[2] Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Наталья Баировна Катышева, mitanova2014@yandex.ru

Актуальность. Соя играет важную роль в земледелии разных стран, она является одним из главных источников полноценного растительного белка и масла. До появления новых скороспелых сортов на территории Иркутской области соя не выращивалась. Для успешной интродукции этого вида требуется дальнейшее детальное изучение культуры в условиях региона и разработка агротехнических приемов возделывания, в первую очередь выбора оптимальных сроков посева.

Материалы и методы. Объектами исследований являлись позднеспелый в условиях Иркутской области сорт сои ‘Баргузин’ и скороспелый селекционный образец 15. Полевые эксперименты проводились в 2019–2021 гг. Посев осуществляли в четыре срока, с первой декады мая до первой декады июня.

Результаты и заключение. В климатических условиях Иркутской области позднеспелый сорт ‘Баргузин’ имеет высокую продуктивность семян (средняя урожайность составила 27 ц/га), на нее существенно влияют погодные условия и срок посева (урожайность варьирует от 14 до 36 ц/га). Оптимальные периоды посева сорта ‘Баргузин’ – первая и вторая декады мая. Скороспелый образец 15 характеризуется более стабильными значениями урожайности (средняя продуктивность составила 24 ц/га, минимальная – 19 ц/га, максимальная – 32 ц/га). Предпочтительными для посева этого образца являются вторая и третья декады мая. Скороспелый генотип сои предъявляет менее жесткие требования к выбору даты посева, чем позднеспелый. В результате на примере двух образцов сои показана необходимость индивидуального подбора сроков посева для сортов, различающихся по длине вегетационного периода.

Ключевые слова: селекция, вегетационный период, структура урожая, тепло- и влагообеспеченность, полевая всхожесть, PERMANOVA

Благодарности: исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России для Сибирского института физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук (Рег. № НИОКТР 122041100049-0).
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Катышева Н.Б., Поморцев А.В., Дорофеев Н.В., Зорина С.Ю., Соколова Л.Г., Журавкова А.С., Букин Ю.С., Катышев А.И. Влияние сроков посева на урожайность различающихся по скороспелости образцов сои (*Glycine max* (L.) Merr.) в климатических условиях Иркутской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):38-49. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-38-49

© Катышева Н.Б., Поморцев А.В., Дорофеев Н.В., Зорина С.Ю., Соколова Л.Г., Журавкова А.С., Букин Ю.С., Катышев А.И., 2024

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-38-49

The effect of sowing dates on the yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) accessions differing in maturity schedules under the climate conditions of Irkutsk Province

Natalia B. Katysheva[1], Anatolii V. Pomortsev[1], Nikolay V. Dorofeev[1], Svetlana Yu. Zorina[1], Lada G. Sokolova[1], Anna S. Zhuravkova[1], Yurij S. Bukin[2], Alexander I. Katyshev[1]

[1] *Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia*

[2] *Limnological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia*

Corresponding author: Natalia B. Katysheva, mitanova2014@yandex.ru

Background. Soybean is the main supplier of complete vegetable protein and oil. Prior to the emergence of new early-ripening cultivars, this crop was not cultivated in Irkutsk Province. Its introduction into the area requires a detailed study of agricultural practices, primarily the choice of optimal sowing dates.
Materials and methods. Soybean cv. 'Barguzin', late-ripening under the conditions of Irkutsk Province, and early-ripening accession 15 served as the research objects. Field studies were carried out in 2019–2021. There were four sowing dates, from the first ten-day period of May through the first ten-day period of June.
Results and conclusion. Cv. 'Barguzin' appeared highly productive under the climate of Irkutsk Province (its average seed yield in 2019–2021 was 2.7 t/ha), but its productivity was significantly influenced by weather conditions and sowing dates (seed yields varied from 1.4 to 3.6 t/ha). The optimal sowing times for this cultivar are the first and second ten-day periods of May. Early-ripening accession 15 was characterized by more stable yield values in the studied years (average productivity was 2.4 t/ha, minimum 1.9 t/ha, and maximum 3.2 t/ha). The preferred sowing times for this accession are the second and third ten-day periods of May. The case study of two soybean genotypes differing in maturation schedules revealed the need for individual selection of sowing dates. It was shown that the early-ripening soybean genotype imposed less stringent requirements on the choice of sowing dates.

Keywords: breeding, growing season, yield structure, heat supply, water supply, field germination, PERMANOVA

Acknowledgements: the study was carried out within the framework of the state task assigned by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation to the Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry (No. 122041100049-0).
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Katysheva N.B., Pomortsev A.V., Dorofeev N.V., Zorina S.Yu., Sokolova L.G., Zhuravkova A.S., Bukin Yu.S., Katyshev A.I. The effect of sowing dates on the yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) accessions differing in maturity schedules under the climate conditions of Irkutsk Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):38-49. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-38-49

Введение

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) благодаря уникальному химическому составу семян является наиболее распространенной зернобобовой культурой в мире, которая нашла свое применение в кормовой, пищевой и технической промышленности. Мировыми лидерами по выращиванию сои являются страны Северной и Южной Америки: США, Бразилия, Аргентина. В Евразии в больших объемах производят культуру Китай и Индия. В этих странах посевные площади, занятые соей, больше в 4–5 раз, чем в России. Согласно данным FAO, в 2021 г. Россия находилась на восьмом месте по производству и седьмом месте по площади возделывания сои в мире (FAOSTAT…, 2021).

Ограничением для расширения ареала возделывания сои в России является в первую очередь то, что культура относится к растениям муссонного климата, короткодневным, чувствительным к продолжительности светового периода и интенсивности освещения. Вследствие этого она предъявляет повышенные требования к уровню обеспеченности влагой, теплом и светом (Li et al., 2019). Ключевым фактором, определяющим высокую урожайность сои, является выбор подходящих сортов для выращивания в конкретном регионе (Bandillo et al., 2017), так как каждый сорт характеризуется определенной зональной принадлежностью, обычно в пределах одного градуса широты (Agarkova et al., 2016; Perfil'ev et al., 2021). Благодаря кропотливой селекционной работе, ведущейся исследователями во всем мире, на сегодняшний день соя распространена на относительно большой территории – от 50° северной широты до 35° южной широты (Watanabe et al., 2012). В России созданы такие сорта культуры, как 'Чера-1', 'УСХИ-6', 'Памяти Фадеева' и другие, которые успешно возделываются в районе 56° с. ш. (Eliseeva, Eliseev, 2022). Важным фактором, влияющим на урожайность сои, связанным с особенностями региона возделывания, является правильный выбор сроков посева (Pierozan Jr. et al., 2015; Mourtzinis et al., 2019; Schoving et al., 2020). Это во многом определяет оптимальное по времени прохождение этапов вегетации и получения стабильной продуктивности (Dorofeev et al., 2008).

Природно-климатические условия Иркутской области в зоне проведения наших опытов характеризуются резко континентальным климатом с продолжительными холодными зимами и жарким засушливым летом. В летние месяцы возможны возвратные ночные заморозки до минус 1–3°С (Gontar et al., 1977). Климат этой зоны отличается недостаточной суммой активных температур выше 10°С. По данным близлежащей к району исследований метеостанции (п. Залари), среднемноголетний (1981–2010 гг.) показатель суммы активных температур составлял 1732°С. Эти условия далеки от оптимальных для возделывания сои.

Ранее в Иркутской области испытывались только скороспелые образцы сои (Dorofeev et al., 2008), оценка возможности получения хорошего урожая у позднеспелых сортов на территории региона не проводилась. Для выращивания сои с различной длиной вегетационного периода в лесостепной зоне требуется оптимизация агротехники и, в первую очередь, выбор наиболее оптимальных сроков посева.

Целью данной работы было изучение влияния различных сроков посева на урожайность двух различающихся по скороспелости образцов сои в условиях лесостепной зоны Иркутской области.

Материалы и методы исследования

Полевые исследования проводились в условиях Заларинского агроэкологического стационара Сибирского института физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук (СИФИБР СО РАН) (53°33'58.75"N, 102°35'23.90"E) в течение трех лет (2019–2021). В эксперименте использовали два различающихся по продолжительности вегетационного периода образца сои: скороспелый образец 15, созданный в СИФИБР, и позднеспелый сорт 'Баргузин' селекции СИФИБР и Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур имени В.С. Пустовойта (ВНИИМК) (Zelentsov et al., 2020). Для посева подбирали семена с посевной годностью согласно ГОСТ Р 52325-2005 (GOST P 52325-2005…, 2009) для категории оригинальные семена (ОС). Посев проводили в четыре срока с первой декады мая до первой декады июня: 1-й срок – 5 мая, 2-й срок – 15 мая, 3-й срок – 25 мая, 4-й срок – 5 июня. Способ посева рядовой, ширина междурядий – 30 см, норма высева – 700 тыс. шт./га, глубина заделки семян в почву – 4 см. Опыт закладывался в 4-кратной повторности на делянках площадью 4 м^2. Урожайность оценивали по данным снопового анализа с 1 м^2, учитывали семена только из тех бобов, которые расположены на стебле выше 12 см от поверхности почвы. Результаты изучения рассчитывали в ц/га.

В 2019 г. сумма среднесуточных температур выше 10°С во время вегетационного периода составила 1773°С, в 2020 г. была существенно выше – 2123°С, а в 2021 г. – 1737°С. По среднемноголетним данным, сумма активных температур выше 10°С за период 1981–2010 гг. равнялась 1732°С. Отклонения от среднемноголетних значений суммы температур выше 10°С в 2019–2021 гг. представлены на рисунке 1. В 2019 г. первая декада мая была теплой, отклонение было положительным (23,3°С). Вторая, третья декады мая, а также первая декада июня были холодными, особенно вторая декада мая; сумма активных температур была ниже среднемноголетних значений на 51,8°С. В среднем сумма положительных температур выше 10°С в июне и июле была больше нормы, но первая и вторая декады июня, а также третья декада июля оказались более прохладными по сравнению со среднемноголетними наблюдениями. Во второй декаде августа отклонение по сумме положительных температур выше 10°С достигало –24,5°С. Май в 2020 г был более теплым, чем в среднем по многолетним наблюдениям. В первой декаде июня отклонение от нормы было отрицательным (–14,9°С); вторая, третья декады июня, а также первая декада июля характеризовались недостатком тепла. При этом вторая, третья декады августа и первая декада сентября были очень теплыми. В 2021 г. весь май и во второй и третьей декадах июня наблюдалось отрицательное отклонение температур от среднемноголетних значений, июль и август по температуре были близки к многолетней норме.

Общая сумма осадков за период май – сентябрь в 2019 г. составила 442,3 мм, в 2020 г. – 368,7 мм, в 2021 г. – 275,0 мм, при среднемноголетних значениях 290 мм. Характер распределения осадков в течение вегетационного периода представлен на рисунке 2. В мае 2019 г., а также в первой декаде июня был отмечен небольшой недостаток влаги относительно среднемноголетних значений. Напротив, начиная со второй декады июня осадков выпало значительно больше нормы. В 2020 г. наблюдали недостаток увлажнения, только в первую декаду августа осадков выпало больше, чем в среднем по многолетним

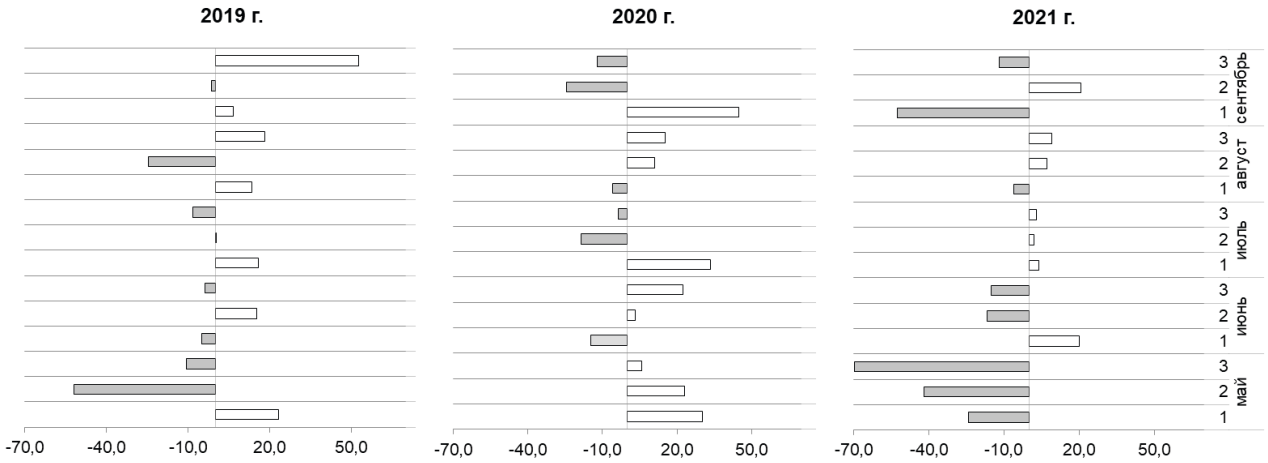


Рис. 1. Отклонение суммы положительных температур выше 10°С от среднемноголетних значений в вегетационные периоды 2019–2021 гг., Иркутская обл.

Fig. 1. Deviations of the sums of positive temperatures above 10°C from the long-term mean values in the growing seasons of 2019–2021, Irkutsk Province

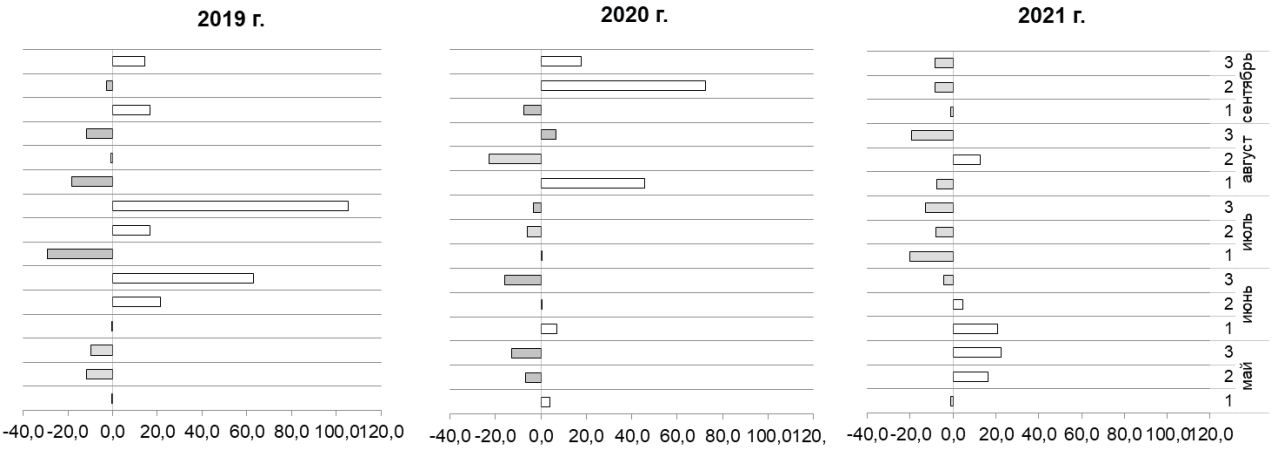


Рис. 2. Отклонение количества осадков, выпавших за вегетационный период 2019–2021 гг., от среднемноголетних значений, Иркутская обл.

Fig. 2. Rainfall deviations from the long-term mean values in the growing seasons of 2019–2021, Irkutsk Province

наблюдениям (+45,6 мм). В 2021 г. в мае и июне количество осадков было больше многолетней нормы, а практически на протяжении всего вегетационного периода сои наблюдали недостаток увлажнения.

Почва на агроэкологическом стационаре серая лесная, по гранулометрическому составу среднесуглинистая. Плотность пахотного слоя почвы (0–20 см) варьировала в пределах 1,00–1,22 г/см^3. Содержание гумуса составило 3,27–3,45%, общего азота – 0,18–0,20%. Верхний горизонт почвы характеризовался слабокислой реакцией среды ($pH_{вод.}$ = 6,05–6,38 и $pH_{сол.}$ = 5,02–5,35). Показатель емкости катионного обмена (ЕКО) был 30,1–36,9 мг экв/100 г. Содержание подвижных форм фосфора (P_2O_5) в почве было высоким (240–252 мг/кг), а калия – повышенным (120–129 мг/кг).

Статистическая обработка результатов по анализу достоверности и интенсивности влияния таких факторов, как год и срок посева, на анализируемые параметры растений (урожайность, число растений во время уборки, вес снопа, высота растений в снопе, вес семян с бобов, расположенных ниже либо выше 12 см от почвы, масса 1000 семян) проводилась с помощью метода PERMANOVA (Anderson, 2001) на основе евклидовых расстояний в пакете vegan v. 2.6-2 для языка программирования R. Анализ PERMANOVA основан на расчетах вариации различий между выборками параметров внутри и между градациями определяющего фактора. Нулевая гипотеза теста (H0 – фактор не влияет на распределения значения параметра) отвергалась при *p-value* ≤ 0,05. Вероятность *p-value* гипотезы H0 в тесте PERMANOVA рассчитывалась непараметрическим перестановочным тестом (1000 перестановок), не зависящим от типа распределения значений в исходной выборке. Тест PERMANOVA выдает значения R^2 – коэффициент ковариации, значение которого меняется от 0 до 1. При *p-value* ≤ 0,05 значение R^2 интерпретируется как доля вариабельности исследуемого параметра, определяемого влиянием фактора. Чем больше это значение, тем в большей степени анализируемый фактор влияет на исследуемый параметр.

Оценку влияния года и срока посева на урожайность и число растений во время уборки представляли графически в виде диаграмм размаха, анализировали следующие показатели: медиана, процентили 25% и 75%, минимальные и максимальные значения. Диаграммы размаха строились по данным четырех независимых повторностей. Точками на графиках показаны выбросы значений.

Результаты и обсуждение

Урожайность сои в исследуемые годы статистически значимо различалась. Согласно анализу, год посева повлиял на урожайность исследуемых генотипов – как селекционного образца 15 (R^2 = 0,39, *p-value* < 0,05), так и сорта 'Баргузин' (R^2 = 0,48, *p-value* < 0,05) (рис. 3). Средняя урожайность образца 15 в 2019 г. составила 23,5 ц/га, в 2020 г. – 27,9 ц/га, в 2021 г. – 20,6 ц/га. Средняя урожайность сорта 'Баргузин' в 2019 г. равнялась 24,7 ц/га, в 2020 г. – 33,8 ц/га, в 2021 г. – 22,5 ц/га (см. рис. 3). Отличия по урожайности сои в разные годы можно объяснить различной суммой активных температур и характером распределения тепла и осадков в течение периода вегетации. Так, в более теплом и с большим количеством осадков (превышающем среднемноголетние значения) 2020 г. урожайность у образцов сои была выше, чем в 2019 и 2021 г. (см. рис. 1, 2, 3).

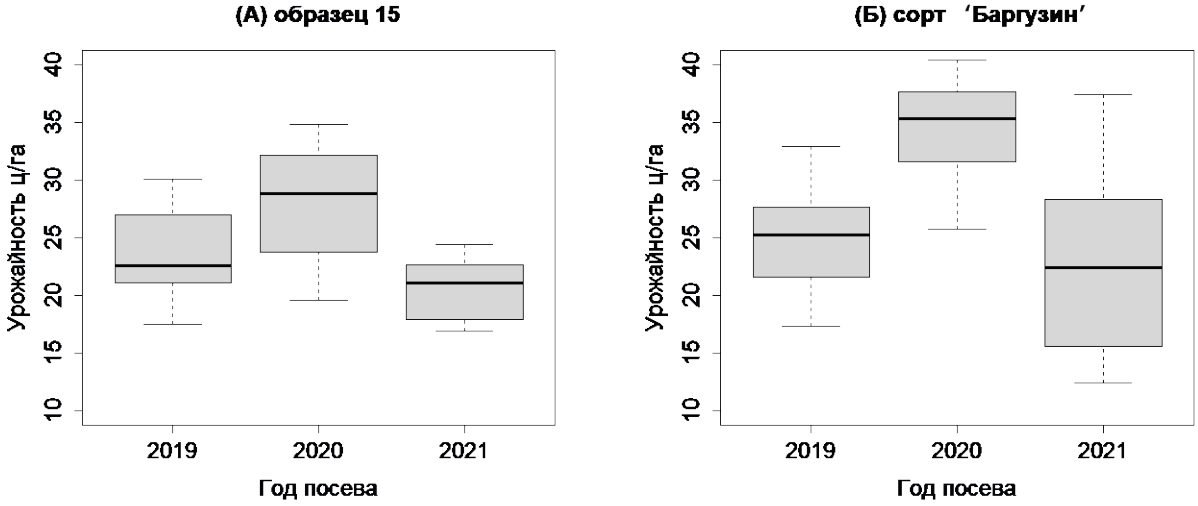


Рис. 3. Изменчивость урожайности образцов сои в 2019–2021 гг. в Иркутской обл.: (А) – образец 15, (Б) – сорт 'Баргузин'

Fig. 3. Soybean yield variability in accession 15 (A) and cv. 'Barguzin' (Б) in 2019–2021, Irkutsk Province

При ранних сроках посева сои в климатических условиях Восточной Сибири недостаток тепла и осадков увеличивает риски появления плохих (слабых или изреженных) всходов. В связи с этим нами была проведена оценка доли (в %) выживших и сформировавших семена растений к моменту уборки от числа высеянных всхожих семян (число выживших растений / число высеянных семян). Полученное значение учитывает как полевую всхожесть, так и сохранность растений к уборке. Следует отметить, что в процессе вегетации выпад растений был небольшой. Статистически значимого влияния сроков посева на число растений, достигших периода уборки, обнаружено не было: образец 15 – R^2 = 0,005, *p-value* > 0,05; сорт 'Баргузин' – R^2 = 0,03, *p-value* > 0,05 (рис. 4).

При оценке числа растений во время уборки было выявлено влияние на этот показатель года посева – на образец 15 его воздействие было ниже (R^2 = 0,57, *p-value* < 0,05), чем на сорт 'Баргузин' (R^2 = 0,73, *p-value* < 0,05) (рис. 5). В более благоприятный 2021 г. отмечалось бóльшее число выживших растений по сравнению с 2019 и 2021 г.

В 2021 г. сорт 'Баргузин' продемонстрировал значительно более низкую полевую всхожесть семян, чем образец 15 (см. рис. 5), что, вероятно, связано со специфичной реакцией этого генотипа на недостаток тепла (см. рис. 1). Количество осадков в этот год превышало показатели средних многолетних наблюдений (см. рис. 2). В то же время на фоне хорошей обеспеченности осадками (см. рис. 2) в период посева (май) наблюдались низкие значения положительных температур (см. рис. 1). Вероятно, данный сорт на начальных стадиях развития проростков более требователен к теплу, чем селекционный образец 15.

В наиболее урожайном 2020 г. высокая продуктивность образцов сои определялась как большим числом растений в снопе, так и большим весом семян в бобах, расположенных выше 12 см от поверхности почвы (таблица). Высокое значение последнего показателя, вероятно, связано не только с высокими показателями положительных температур в 2020 г., но и с превысившим среднемноголетние значения количеством осадков. Влагообеспеченность является значимым фактором, определяющим урожайность сои, особенно в период налива бобов (Lamichhane et al., 2020). Влияние этого фактора на урожайность сои можно заметить на примере образца 15 в 2019 и 2021 г. В 2019 и 2021 г. значения суммы среднесуточных температур выше 10°C были близкими и составляли 1773°C и 1737°C соответственно. В то же время общая сумма осадков за период май – сентябрь в 2021 г. составила 275 мм, в 2019 г. – 442,3 мм. Более того, в 2021 г. наблюдалось нехарактерное для Иркутской области распределение осадков (см. рис. 2). Так, во второй и третьей декадах мая, а также в первой и второй декадах июня осадков выпало больше, чем в среднем по многолетним данным, а период второй половины вегетации сои был засушливым (см. рис. 2). Вероятно, это и определило низкую продуктивность образца 15 по сравнению с 2019 г.

Таким образом, анализ структуры урожайности и полевой всхожести семян сои позволяет заключить, что в Иркутской области необходимой предпосылкой достижения хорошей продуктивности является сочетание двух факторов – тепла и влаги. Сходную взаимосвязь продуктивности сои и погодных условий в период 2019–2021 гг. наблюдали в Приморском крае (Vasina et al., 2022). Так же как и в нашем случае, в данной работе наибольшая про-

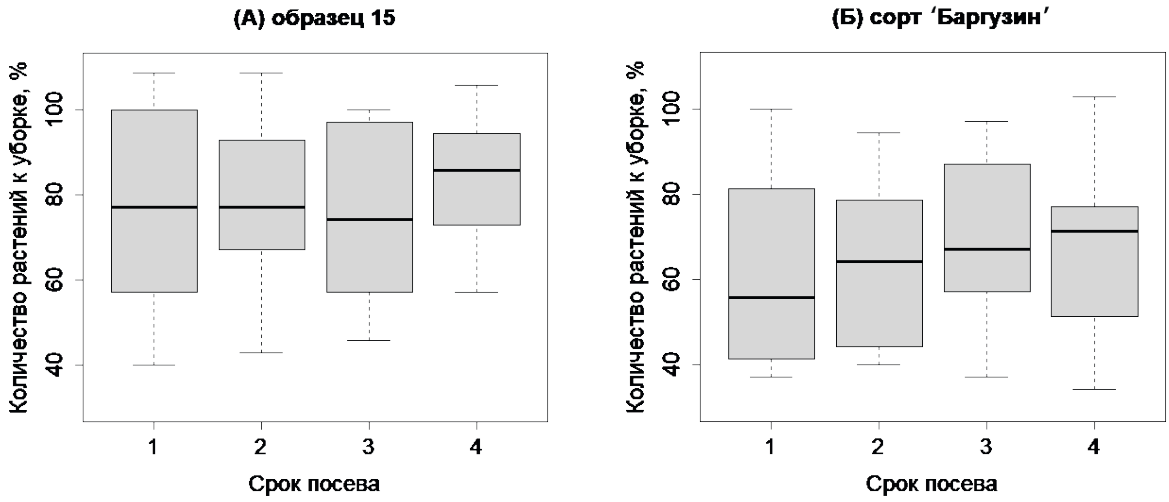


Рис. 4. Влияние срока посева на число растений сои во время уборки у образца 15 (А) и сорта 'Баргузин' (Б) в 2019–2021 гг. в Иркутской области

Fig. 4. The effect of the sowing time on the number of harvested soybean plants of accession 15 (A) and cv. 'Barguzin' (Б) in 2019–2021, Irkutsk Province

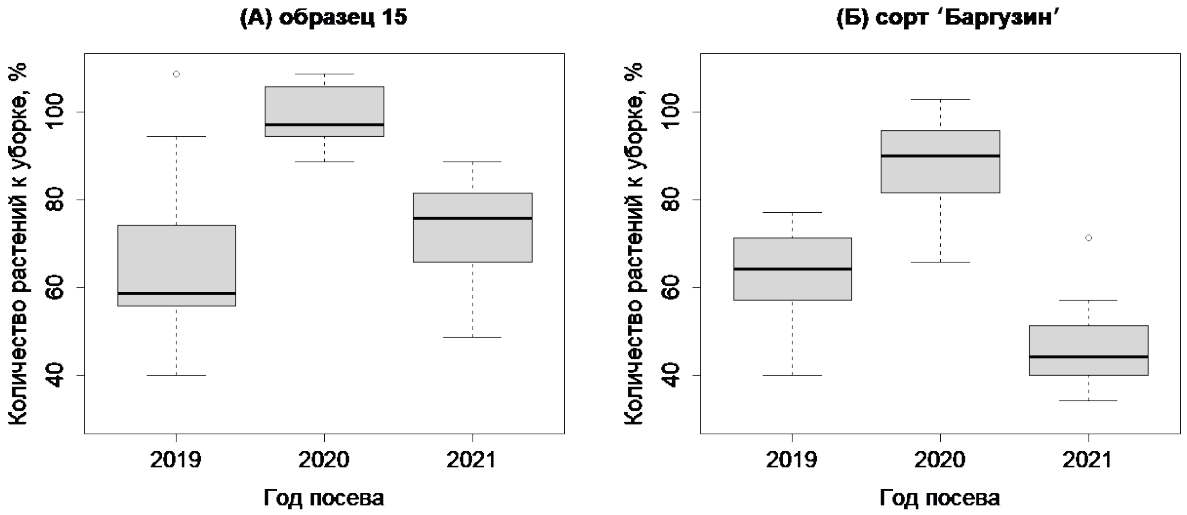


Рис. 5. Влияние года посева на число растений сои во время уборки у образца 15 (А) и сорта 'Баргузин' (Б) в 2019–2021 гг. в Иркутской области

Fig. 5. The effect of the sowing year on the number of harvested soybean plants of accession 15 (A) and cv. 'Barguzin' (Б) in 2019–2021, Irkutsk Province

дуктивность семян наблюдалась в год, который характеризовался повышенной температурой и большим количеством осадков, превышавшим среднемноголетние значения.

Вследствие чувствительности сои к недостатку тепла и влаги неудивительно, что разные сроки посева оказывали заметное влияние на урожайность и скороспелого, и позднеспелого образцов (рис. 6).

У скороспелого образца 15 при поздних сроках посева (25 мая, 5 июня) урожайность была немного выше (см. рис. 6А), хотя проведенная статистическая обработка показала, что значимость полученных различий не достоверна (R^2 = 0,11, *p-value* > 0,05). Достоверный эффект срока посева на урожайность сои отмечен только для позднеспелого сорта 'Баргузин' (R^2 = 0,23, *p-value* < 0,05), причем в данном случае наблюдали обратную тенденцию – снижение урожайности при более поздних сроках посева (см. рис. 6Б).

Наблюдавшиеся различия в урожайности у образцов сои зависели от разных показателей структуры урожая (см. табл. 1, 2).

Так, у скороспелого образца 15 в 2019 и 2020 г. более высокие значения урожайности в 3-й и 4-й сроки посева определялись большим весом семян в бобах, расположенных выше 12 см от поверхности почвы. В наиболее урожайный 2020 г. значительное увеличение веса семян выше 12 см сочеталось с бóльшей высотой растений. Увеличение высоты растений наблюдалось и у растений 3-го и 4-го сроков посева позднеспелого сорта 'Баргузин' в этом же году. В то же время вес семян бобов, располо-

Таблица. Структура урожайности образца сои 15 и сорта ‘Баргузин’ при разных сроках посева в 2019–2021 гг. в Иркутской области

Table. Soybean yield structure of accession 15 and cv. ‘Barguzin’ in the context of different sowing times in 2019–2021, Irkutsk Province

Год	Вариант	Показатели структуры урожая					
		Вес снопа, г/м²	Высота растений, см	Число растений, шт./м²	Вес семян, г/м²		Масса 1000 семян, г
					ниже 12 см*	выше 12 см*	
Образец 15							
2019	1-й срок	492 ± 66	76,5 ± 6,1	36,5 ± 5,7	28,8 ± 4,9	224,5 ± 53,9	172,9 ± 3,6
	2-й срок	535 ± 97	74,0 ± 4,9	47,0 ± 20,0	20,3 ± 5,8	225,3 ± 38,9	164,0 ± 1,8
	3-й срок	598 ± 97	76,3 ± 4,9	47,5 ± 10,5	17,4 ± 9,1	253,5 ± 22,2	166,8 ± 2,4
	4-й срок	618 ± 64	70,3 ± 7,0	48,6± 11,9	21,6 ± 13,6	236,9 ± 39,3	170,9 ± 0,8
Доля вариабельности R^2 *p-value*		*R^2 = 0,32* *> 0,05*	*R^2 = 0,19* *>0,05*	*R^2 = 0,02* *> 0,05*	*R^2 = 0,21* *> 0,05*	*R^2 = 0,101* *> 0,05*	***R^2 = 0,74*** ***< 0,05***
2020	1-й срок	753 ± 102	60,5 ± 4,9	72,5 ± 4,4	44,9 ± 10,9	241,7 ± 37,3	172,2 ± 10,6
	2-й срок	753 ± 50	66,0 ± 2,2	67,0 ± 6,6	62,3 ± 24,3	241,4 ± 40,4	186,1 ± 11,4
	3-й срок	855 ± 78	80,0 ± 3,6	69,0 ± 1,2	26,5 ± 11,7	324,4 ± 33,9	176,4 ± 6,6
	4-й срок	810 ± 68	76,5 ± 4,0	68,0 ± 4,3	36,7 ± 13,1	311,8 ± 23,8	165,6 ± 5,4
Доля вариабельности R^2 *p-value*		*R^2 = 0,30* *> 0,05*	***R^2 = 0,84*** ***< 0,05***	*p = 0,21* *> 0,05*	***R^2 = 0,47*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,62*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,48*** ***< 0,05***
2021	1-й срок	536 ± 158	65,2 ± 1,9	53,5 ± 4,4	56,6 ± 10,6	193,3 ± 19,3	174,0 ± 9,8
	2-й срок	704 ± 45	72,4 ± 3,9	53,0 ± 1,2	53,6 ± 4,6	225,1 ± 14,9	171,3 ± 5,1
	3-й срок	612 ± 54	70,2 ± 7,4	39,5 ± 5,3	45,4 ± 9,8	202,6 ± 33,4	179,5 ± 3,8
	4-й срок	623 ± 31	66,9 ± 5,6	58,5 ±2 ,5	23,7 ± 12,7	202,6 ± 20,7	157,4 ± 3,3
Доля вариабельности R^2 *p-value*		*R^2 = 0,03* *> 0,05*	*R^2 = 0,30* *> 0,05*	***R^2 = 0,82*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,69*** ***< 0,05***	*R^2 = 0,25* *> 0,05*	***R^2 = 0,70*** ***< 0,05***
Влияние фактора «год посева» R^2, *p-value*		***R^2 = 0,55*** ***< 0,05***	*R^2 = 0,108* *> 0,05*	***R^2 = 0,57*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,31*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,39*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,92*** ***< 0,05***
Влияние фактора «срок посева» R^2, *p-value*		*R^2 = 0,06* *> 0,05*	*R^2 = 0,07* *> 0,05*	*R^2 = 0,01* *> 0,05*	***R^2 = 0,16*** ***< 0,05***	*R^2 = 0,07* *> 0,05*	*R^2 = 0,01* *> 0,05*

Таблица. Продолжение

Table. Continued

Год	Вариант	Показатели структуры урожая					
		Вес снопа, г/м²	Высота растений, см	Число растений, шт./м²	Вес семян, г/м²		Масса 1000 семян, г
					ниже 12 см*	выше 12 см*	
Образец 15							
2019	1-й срок	492 ± 66	76,5 ± 6,1	36,5 ± 5,7	28,8 ± 4,9	224,5 ± 53,9	172,9 ± 3,6
	2-й срок	535 ± 97	74,0 ± 4,9	47,0 ± 20,0	20,3 ± 5,8	225,3 ± 38,9	164,0 ± 1,8
	3-й срок	598 ± 97	76,3 ± 4,9	47,5 ± 10,5	17,4 ± 9,1	253,5 ± 22,2	166,8 ± 2,4
	4-й срок	618 ± 64	70,3 ± 7,0	48,6± 11,9	21,6 ± 13,6	236,9 ± 39,3	170,9 ± 0,8
Доля вариабельности R^2 *p-value*		*R^2 = 0,32* *> 0,05*	*R^2 = 0,19* *>0,05*	*R^2 = 0,02* *> 0,05*	*R^2 = 0,21* *> 0,05*	*R^2 = 0,101* *> 0,05*	***R^2 = 0,74*** ***< 0,05***
2020	1-й срок	753 ± 102	60,5 ± 4,9	72,5 ± 4,4	44,9 ± 10,9	241,7 ± 37,3	172,2 ± 10,6
	2-й срок	753 ± 50	66,0 ± 2,2	67,0 ± 6,6	62,3 ± 24,3	241,4 ± 40,4	186,1 ± 11,4
	3-й срок	855 ± 78	80,0 ± 3,6	69,0 ± 1,2	26,5 ± 11,7	324,4 ± 33,9	176,4 ± 6,6
	4-й срок	810 ± 68	76,5 ± 4,0	68,0 ± 4,3	36,7 ± 13,1	311,8 ± 23,8	165,6 ± 5,4
Доля вариабельности R^2 *p-value*		*R^2 = 0,30* *> 0,05*	***R^2 = 0,84*** ***< 0,05***	*p = 0,21* *> 0,05*	***R^2 = 0,47*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,62*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,48*** ***< 0,05***
2021	1-й срок	536 ± 158	65,2 ± 1,9	53,5 ± 4,4	56,6 ± 10,6	193,3 ± 19,3	174,0 ± 9,8
	2-й срок	704 ± 45	72,4 ± 3,9	53,0 ± 1,2	53,6 ± 4,6	225,1 ± 14,9	171,3 ± 5,1
	3-й срок	612 ± 54	70,2 ± 7,4	39,5 ± 5,3	45,4 ± 9,8	202,6 ± 33,4	179,5 ± 3,8
	4-й срок	623 ± 31	66,9 ± 5,6	58,5 ±2 ,5	23,7 ± 12,7	202,6 ± 20,7	157,4 ± 3,3
Доля вариабельности R^2 *p-value*		*R^2 = 0,03* *> 0,05*	*R^2 = 0,30* *> 0,05*	***R^2 = 0,82*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,69*** ***< 0,05***	*R^2 = 0,25* *> 0,05*	***R^2 = 0,70*** ***< 0,05***
Влияние фактора «год посева» R^2, *p-value*		***R^2 = 0,55*** ***< 0,05***	*R^2 = 0,108* *> 0,05*	***R^2 = 0,57*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,31*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,39*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,92*** ***< 0,05***
Влияние фактора «срок посева» R^2, *p-value*		*R^2 = 0,06* *> 0,05*	*R^2 = 0,07* *> 0,05*	*R^2 = 0,01* *> 0,05*	***R^2 = 0,16*** ***< 0,05***	*R^2 = 0,07* *> 0,05*	*R^2 = 0,01* *> 0,05*

Таблица. Окончание

Table. The end

Год	Вариант	Показатели структуры урожая					
		Вес снопа, г/м²	Высота растений, см	Число растений, шт./м²	Вес семян, г/м²		Масса 1000 семян, г
					ниже 12 см*	выше 12 см*	
‘Баргузин’							
2019	1-й срок	648 ± 105	99,5 ± 6,4	40,0 ± 10,9	0,6 ± 1,3	235,8 ± 35,6	121,4 ± 1,8
	2-й срок	745 ± 102	102,8 ± 2,6	42,5 ± 11,0	1,2 ± 1,0	278,1 ± 43,5	120,1 ± 1,4
	3-й срок	730 ± 56	95,8 ± 2,7	44,5 ± 3,4	4,8 ± 3,5	275,8 ± 15,9	123,5 ± 1,3
	4-й срок	643 ± 81	93,5 ± 4,8	48,5 ± 3,0	5,5± 5,6	201,4 ± 20,7	110,6 ± 1,3
Доля вариабельности R^2 *p-value*		*R^2 = 0,27* *> 0,05*	*R^2 = 0,46* *> 0,05*	*R^2 = 0,16* *> 0,05*	*R^2 = 0,34* *> 0,05*	***R^2 = 0,57*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,93*** ***< 0,05***
2020	1-й срок	1058 ± 66	79,9 ± 3,2	60,0 ± 10,2	4,7 ± 1,7	352,1 ± 44,8	133,8 ± 5,2
	2-й срок	1068 ± 385	88,6 ± 2,9	59,5 ± 5,9	12,0 ± 4,7	356,2 ± 56,7	130,7 ± 4,4
	3-й срок	953 ± 38	98,3 ± 5,6	63,5 ± 4,1	1,5 ± 1,8	327,8 ± 2,6	106,4 ± 3,6
	4-й срок	920 ± 67	93,5 ± 4,5	62,5 ± 9,9	2,7 ± 2,1	318,2 ± 47,0	103,7 ± 0,9
Доля вариабельности R^2 *p-value*		*R^2 = 0,12* *> 0,05*	***R^2 = 0,78*** ***< 0,05***	*R^2 = 0,05* *> 0,05*	***R^2 = 0,73*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,45*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,94*** ***< 0,05***
2021	1-й срок	857 ± 137	92,9 ± 6,6	29,0 ± 2,6	10,6 ± 2,4	306,6 ± 46,3	101,8 ± 1,6
	2-й срок	833 ± 48	94,0 ± 4,2	31,0 ± 2,6	5,1 ± 1,8	277,0 ± 26,9	99,5 ±0 ,8
	3-й срок	1000 ± 347	91,8 ± 8,0	38,5 ± 9,8	4,6 ± 2,6	175,8 ± 27,2	81,5 ± 1,3
	4-й срок	924 ± 148	93,2 ± 6,3	31,0 ± 6,0	6,1 ± 3,6	140,3 ± 17,8	70,9 ± 1,9
Доля вариабельности R^2 *p-value*		*R^2 = 0,04* *> 0,05*	*R^2 = 0,02* *> 0,05*	*R^2 = 0,32* *> 0,05*	***R^2 = 0,51*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,86*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,99*** ***< 0,05***
Влияние фактора «год посева», R^2, *p-value*		***R^2 = 0,39*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,20*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,74*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,12*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,48*** ***< 0,05***	***R^2 = 0,96*** ***< 0,05***
Влияние фактора «срок посева», R^2, *p-value*		*R^2 = 0,01* *> 0,05*	*R^2 = 0,06* *> 0,05*	*R^2 = 0,03* *> 0,05*	*R^2 = 0,04* *> 0,05*	***R^2 = 0,23*** ***< 0,05***	*R^2 = 0,004* *>0,05*

Примечание: * – указаны значения веса семян в бобах, расположенных на растении ниже 12 см или выше 12 см от поверхности почвы; доля вариабельности R^2 – коэффициент ковариации, отражающий вклад фактора в вариабельность исследуемого параметра; жирным шрифтом выделены значения ***R^2***, достоверные на 5-процентном уровне значимости; *p-value* – уровень вероятности

Note: * – the values indicated are the weight of seeds in beans located on the plant below 12 cm or above 12 cm from the soil surface; the share of variability R^2 is the covariance coefficient reflecting the contribution of the factor to the variability of the studied parameter; R^2 values significant at the 5% significance level are boldfaced

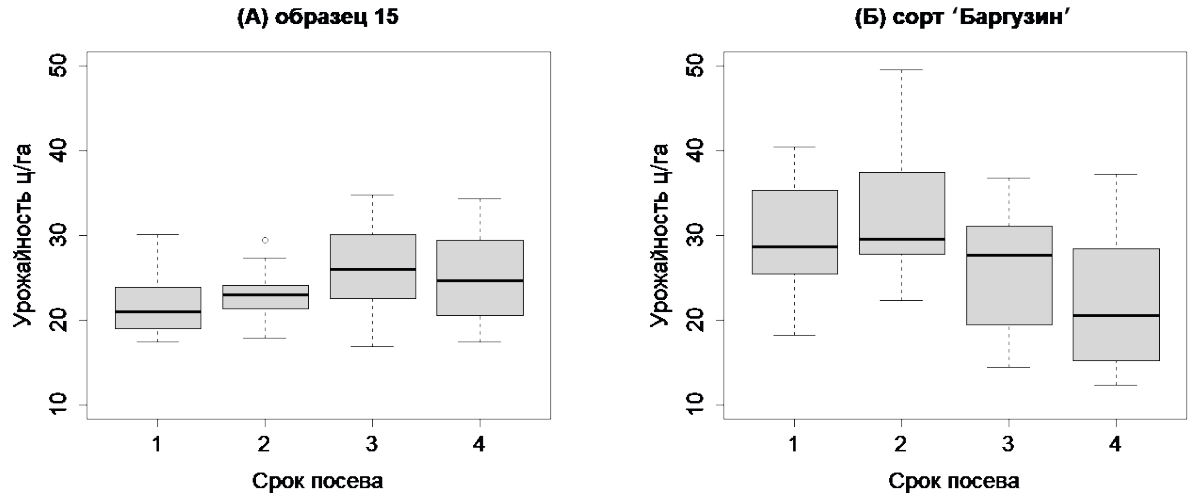


Рис. 6. Влияние срока посева на урожайность образца сои 15 (А) и сорта 'Баргузин' (Б) в 2019–2021 гг. в Иркутской области

Fig. 6. The effect of the sowing time on the yield of soybean accession 15 (A) and cv. 'Barguzin' (Б) in 2019–2021, Irkutsk Province

женных выше 12 см, у данного генотипа не увеличивался. Влияние срока посева на высоту растений сои наблюдала А. А. Алиева (Aliyeva, 2021). Более низкая урожайность сорта 'Баргузин' третьего и четвертого сроков посева определялась меньшим весом семян в бобах, расположенных выше 12 см от поверхности почвы, и меньшей массой 1000 семян. Последний параметр был заметно снижен у растений четвертого срока посева во все годы наблюдений из-за выраженной незрелости семян.

Отдельно стоит отметить, что вес семян с бобов, расположенных на высоте ниже 12 см от поверхности почвы, был во все сроки посева больше у образца 15 в сравнении с сортом 'Баргузин'. При ранних сроках посева данных образцов этот показатель был выше, чем при поздних.

Необходимость выбора оптимальных сроков посева для достижения более высокой урожайности сои подтверждается исследователями во всем мире. Для каждого региона сроки посева определяются своим набором факторов. Так, в Бразилии выбор наилучшего срока посева обеспечивает возможность собирать урожай сои два раза в год (Zhang et al., 2021). В Северной Америке и Европе запаздывание со сроками посева приводит к тому, что цветение и созревание сои приходятся на наиболее засушливый и жаркий период вегетации (Mourtzinis et al., 2019; Lamichhane et al., 2020). На основании наших данных показано, что для различающихся по скороспелости образцов сои в условиях лесостепной зоны Иркутской области существуют свои оптимальные сроки посева. В связи с возможными возвратными заморозками, характерными для условий региона при сверхраннем посеве (первый срок – 5 мая), повышаются риски попадания всходов под отрицательные температуры. Для скороспелого образца 15 предпочтительным является посев в период с 15 по 25 мая. Статистически значимой разницы в урожайности между третьим и четвертым сроками посева не было, тем не менее, учитывая короткий вегетационный период, характерный для условий лесостепной зоны Иркутской области, мы не рекомендуем четвертый срок посева. Похожие результаты были получены ранее на опытно-экспериментальном участке СИФИБР СО РАН г. Иркутска (Dorofeev et al., 2008), на основании которых авторы также рекомендовали посев сои в Восточной Сибири в период с 15 по 25 мая.

В наших экспериментах для позднеспелого сорта 'Баргузин' первый и второй сроки посева были наилучшими, третий – менее оптимален, четвертый срок – неблагоприятен. Запаздывание со сроком посева сорта 'Баргузин' в условиях региона может привести к тому, что растения не успеют вызреть в течение вегетационного периода. На основании полученных данных для позднеспелых сортов сои, таких как 'Баргузин', мы рекомендуем посев в первой – второй декаде мая.

Заключение

В результате трехлетнего изучения влияния погодных условий, генотипа и сроков посева на урожайность сои в лесостепной зоне Иркутской области было выявлено, что на продуктивность исследованных образцов существенное влияние оказывают метеорологические факторы – сумма положительных температур и количество осадков, а также характер распределения тепла и осадков в разные периоды вегетации.

Достоверного эффекта влияния срока посева на урожайность скороспелого селекционного образца 15 нами выявлено не было. Однако на позднеспелый образец 'Баргузин' сильно действовали поздние сроки посева, значительно снижая урожайность этого высокопродуктивного сорта.

Негативное влияние внешней среды на продуктивность сои может быть снижено путем выбора правильного сочетания генотипа и сроков посева. Посев скороспелых образцов нужно проводить во второй и третьей декадах мая, позднеспелых – в первой и второй.

Для получения стабильного урожая в агроклиматических условиях региона предпочтительнее выращивать скороспелые сорта сои. Использование таких сортов позволит уменьшить вероятность получения низкого урожая из-за воздействия неблагоприятных факторов среды при ранних сроках посева и снизить риски невызревания семян при позднем посеве.

References / Литература

Agarkova S.N., Novikova N.E., Belyaeva R.V., Golovina E.V., Belyaeva Zh.A., Tsukanova Z.R. et al. Features of the formation of productivity and adaptive reactions in leguminous crop varieties with recessive alleles of genes. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2016;177(2):22-39. [in Russian] (Агаркова С.Н., Новикова Н.Е., Беляева Р.В., Головина Е.В., Беляева Ж.А., Цуканова З.Р. и др. Особенности формирования продуктивности и адаптивных реакций у сортов зернобобовых культур с рецессивными аллелями генов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2016;177(2):22-39). DOI: 10.30901/2227-8834-2016-2-22-39

Aliyeva A. Effect on soybean growth of sowing time and fertilizers. *Bulletin of Science and Practice*. 2021;7(5):121-126. DOI: 10.33619/2414-2948/66/15

Anderson M.J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*. 2001;26(1):32-46. DOI: 10.1111/J.1442-9993.2001.01070.PP.X

Bandillo N.B., Anderson J.E., Kantar M.B. Stupar R.M., Specht J.E., Graef G.L. et al. Dissecting the genetic basis of local adaptation in soybean. *Scientific Reports*. 2017;7(1):17195. DOI: 10.1038/s41598-017-17342-w

Dorofeev N.V., Boyarkin E.V., Peshkova A.A. Soybean yield in Eastern Siberia depending on the sowing dates (Urozhaynost soi v Vostochnoy Sibiri v zavisimosti ot sroka poseva). *Zernovoye khozyaystvo = Grain Farming*. 2008;(3):30-31. [in Russian] (Дорофеев Н.В., Бояркин Е.В., Пешкова А.А. Урожайность сои в Восточной Сибири в зависимости от срока посева. *Зерновое хозяйство*. 2008;(3):30-31).

Eliseeva L.V., Eliseev I.P. Economic and biological assessment of soybean varieties in the conditions of the Chuvash Republic. *Vestnik Chuvash SAU*. 2022;2(21):5-9. [in Russian] (Елисеева Л.В., Елисеев И.П. Хозяйственно-биологическая оценка сортов сои в условиях Чувашской Республики. *Вестник Чувашского аграрного университета*. 2022;2(21):5-9). DOI: 10.48612/vch/fpuz-mx6d-gr2m

FAOSTAT: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics. Rome: FAO; 2021. Available from: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL [accessed Sept. 12, 2023].

Gontar V.I., Tatakina L.N., Furman M.Sh. Agroclimatic resources of Irkutsk Province (Agroklimaticheskiye resursy Irkutskoy oblasti). Leningrad: Gidrometeoizdat; 1977. [in Russian] (Гонтарь В.И., Татакина Л.Н., Фурман М.Ш. Агроклиматические ресурсы Иркутской области. Ленинград: Гидрометеоиздат; 1977).

GOST R 52325-2005 National standard of the Russian Federation. Seeds of agricultural plants. Varietal and sowing characteristics. General specifications. Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ Р 52325-2005. Национальный стандарт Российской Федерации. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ; 2009). URL: https://docs.cntd.ru/document/1200039547 [дата обращения: 18.09.2023].

Lamichhane J.R., Aubertot J.N., Champolivier L., Debaeke P., Maury P. Combining experimental and modeling approaches to understand genotype × sowing date × environment interaction effects on emergence rates and grain yield of soybean. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:558855. DOI: 10.3389/fpls.2020.558855

Li M., Liu Y., Tao Y., Xu C., Li X., Zhang X. et al. Identification of genetic loci and candidate genes related to soybean flowering through genome wide association study. *BMC Genomics*. 2019;20(1):987. DOI: 10.1186/s12864-019-6324-7

Mourtzinis S., Specht J.E., Conley S.P. Defining optimal soybean sowing dates across the US. *Scientific Reports*. 2019;9(1):2800. DOI: 10.1038/s41598-019-38971-3

Perfil'ev R.N., Shcherban A.B., Salina E.A. Development of a marker panel for genotyping of domestic soybean cultivars for genes controlling the duration of vegetation and response to photoperiod. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(7):761-769. DOI: 10.18699/VJ21.087

Pierozan Jr. C., Kawakami J., Bridi M., Müller M.M.L., Del Conte M.V., Michalovicz L. Phenological and quantitative plant development changes in soybean cultivars caused by sowing date and their relation to yield. *African Journal of Agricultural Research*. 2015;10(6):515-523. DOI: 10.5897/AJAR2014.9325

Schoving C., Stöckle C.O., Colombet C., Champolivier L., Debaeke P., Maury P. Combining simple phenotyping and photothermal algorithm for the prediction of soybean phenology: Application to a range of common cultivars grown in Europe. *Frontiers in Plant Science*. 2020;10:1755. DOI: 10.3389/fpls.2019.01755

Vasina E.A., Butovets E.S., Lukyanchuk L.M. Results of a study of soybean source material for breeding purposes under the conditions of Primorsky Territory. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):19-29. [in Russian] (Васина Е.А., Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М. Результаты изучения исходного материала сои в условиях Приморского края для селекционных целей. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):19-29). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-19-29

Watanabe S., Harada K., Abe J. Genetic and molecular bases of photoperiod responses of flowering in soybean. *Breeding Science*. 2012;61(5):531-543. DOI: 10.1270/jsbbs.61.531

Zelentsov S.V., Moshnenko E.V., Bubnova L.A., Budnikov E.N., Trunova M.V., Lukomets A.V. et al. A cold-resistant soybean cultivar of the northern ecotype Barguzin. *Oil Crops*. 2020;1(181):132-139. [in Russian] (Зеленцов С.В., Мошненко Е.В., Бубнова Л.А., Будников Е.Н., Трунова М.В., Лукомец А.В. и др. Холодоустойчивый сорт сои северного экотипа Баргузин. *Масличные культуры*. 2020;1(181):132-139). DOI: 10.25230/2412-608X-2020-1-181-132-139

Zhang M., Abrahao G., Cohn A., Campolo J., Thompson S. A MODIS-based scalable remote sensing method to estimate sowing and harvest dates of soybean crops in Mato Grosso, Brazil. *Heliyon*. 2021;7(7):07436. DOI: 10.1016/j.heliyon2021.e07436

Информация об авторах

Наталья Баировна Катышева, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, mitanova2014@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5847-1695

Анатолий Владимирович Поморцев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, pomorcevanatolii@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-8025-7647

Николай Владимирович Дорофеев, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, nicdoro@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-0005-0134

Светлана Юрьевна Зорина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, zorina@sifibr.irk.ru, https://orcid.org/0000-0002-7587-981X

Лада Георгиевна Соколова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, sokolova.lada@sifibr.irk.ru, https://orcid.org/0000-0002-5178-1404

Анна Сергеевна Журавкова, ведущий инженер, Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, shiverskix98@bk.ru

Юрий Сергеевич Букин, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Россия, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, bukinyura@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-4534-3846

Александр Игоревич Катышев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, byacky78@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7856-0460

Information about the authors

Natalia B. Katysheva, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 132 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia, mitanova2014@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5847-1695

Anatolii V. Pomortsev, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 132 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia, pomorcevanatolii@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-8025-7647

Nikolay V. Dorofeev, Cand. Sci. (Biology), Head of a Laboratory, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 132 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia, nicdoro@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-0005-0134

Svetlana Yu. Zorina, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 132 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia, zorina@sifibr.irk.ru, https://orcid.org/0000-0002-7587-981X

Lada G. Sokolova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 132 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia, sokolova.lada@sifibr.irk.ru, https://orcid.org/0000-0002-5178-1404

Anna S. Zhuravkova, Technician, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 132 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia, shiverskix98@bk.ru

Yurij S. Bukin, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Limnological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk 664033, Russia, bukinyura@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-4534-3846

Alexander I. Katyshev, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 132 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia, byacky78@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7856-0460

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 22.12.2023; одобрена после рецензирования 18.06.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 22.12.2023; approved after reviewing on 18.06.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 634.54:631.526.32:632.35:581.143.6
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-50-60

CC BY

Активность геммогенеза растений-регенерантов сорта фундука ‘Академик Яблоков’ и антибиотикотерапия для элиминации бактериальной инфекции в условиях *in vitro*

Т. А. Красинская

Институт плодоводства, Самохваловичи, Беларусь

Автор, ответственный за переписку: Татьяна Анатольевна Красинская, tatsiana.krasinskaya@gmail.com

Актуальность. Для расширения промышленных и приусадебных насаждений сортов фундука в Беларуси актуален вопрос получения сертифицированного посадочного материала биотехнологическими методами.
Материалы и методы. Растения-регенеранты сорта фундука ‘Академик Яблоков’, как представителя рода *Corylus* L., являлись модельным объектом изучения морфогенеза в культуре *in vitro* и эффективности антибиотиков для элиминации бактериальной инфекции с целью разработки протокола получения оздоровленного посадочного материала сортов фундука. Полученные в ходе исследования растения включены в состав дублетной коллекции орехоплодных культур, сохраняющихся *in vitro* в состоянии активного роста.
Результаты. Антибиотик канамицина моносульфат в концентрации 100 мг/л при однократном воздействии в процессе антибиотикотерапии на этапе микроразмножения *in vitro* элиминировал бактериальную инфекцию у 83,3% растений-регенератов, а при двукратном воздействии – у 100%. Дальнейшее культивирование выявило его фитотоксичное поствлияние, проявляющееся в виде некроза большей части растений-регенерантов и снижения активности процессов геммогенеза и роста. Цефотаксима натриевая соль в концентрации 90 мг/л не элиминировала бактериальную инфекцию как при однократном, так и при двукратном воздействии; активность геммогенеза и роста растений-регенерантов сохранялась при последующем культивировании на средах без антибиотиков. Наилучшие показатели развития отмечались на модифицированной среде Мурасиге – Скуга (среднее количество растений-регенерантов в конгломерате – 2,2 шт., микрочеренков – 2,3 шт.) и на модифицированной среде DKW (среднее количество растений-регенерантов в конгломерате – 2,05 шт., микрочеренков – 2,9 шт.) с гормональным составом 6 мг/л 6-БА, 0,01 мг/л ИМК и 0,1 мг/л $ГК_3$. Использование зеатина в качестве цитокинина для стимуляции адвентивного морфогенеза или активации роста пазушных меристем в концентрации 5 и 6 мг/л малоэффективно по сравнению с 6-БА.

Ключевые слова: культура *in vitro*, *Corylus* L., фундук, микроразмножение, антибиотикотерапия

Благодарности: работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы (номер госрегистрации 20201691) «Расширить сортимент фундука для промышленного и приусадебного возделывания за счет создания технологичных и высокопродуктивных сортов, разработать приемы их размножения, производства и хранения орехов».
Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Красинская Т.А. Активность геммогенеза растений-регенерантов сорта фундука ‘Академик Яблоков’ и антибиотикотерапия для элиминации бактериальной инфекции в условиях *in vitro*. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):50-60. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-50-60

© Красинская Т.А., 2024

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-50-60

Activity of gemmogenesis in regenerated plants of hazelnut cv. 'Akademyk Yablokov' and antibiotic therapy for elimination of bacterial contamination *in vitro*

Tatsiana A. Krasinskaya

Institute for Fruit Growing, Samokhvalovichi, Belarus

Corresponding author: Tatsiana A. Krasinskaya, tatsiana.krasinskaya@gmail.com

Background. The problem of obtaining certified planting material with biotechnological methods is important for expanding commercial and homestead plantations of hazelnut cultivars in Belarus.
Materials and methods. Regenerated plants of cv. 'Akademyk Yablokov', representing the genus *Corylus* L., were a model object for studying *in vitro* morphogenesis and effectiveness of antibiotics against bacterial contamination, so that a protocol could be developed to obtain healthy planting material of hazelnut cultivars. The plants produced during this study were included in the duplicate *ex situ* collection of nut crops preserved *in vitro* in the active growth state.
Results. Single exposure to the antibiotic kanamycin monosulfate at a concentration of 100 mg/L during antibiotic therapy in the stage of *in vitro* micropropagation eliminated bacterial infection in 83.3% of regenerated plants, and twofold exposure in 100%. Further cultivation revealed its phytotoxic aftereffect manifested in the form of necrosis on most of the regenerated plants and a decrease in the activity of gemmogenesis and growth. Neither single nor twofold exposure to cefotaxime sodium salt at a concentration of 90 mg/L caused elimination of bacterial infection, but gemmogenesis and regenerated plant growth retained their activity during subsequent cultivation on antibiotic-free media. The best development parameters were observed on a modified Murashige–Skoog medium with 6 mg/L 6-BA, 0.01 mg/L IBA, and 0.1 mg/L GA_3 (average number of shoots: 2.2; number of microcuttings: 2.3), and a modified DKW medium with 6 mg/L 6-BA, 0.01 mg/L IBA, and 0.1 mg/L GA_3 (average number of shoots: 2.05; microcuttings: 2.9). The use of zeatin as a cytokinin to stimulate adventitious morphogenesis or activate the growth of axillary meristems at a concentration of 5 or 6 mg/L was not as effective as 6-BA.

Keywords: *in vitro* culture, *Corylus* L., hazelnut, micropropagation, antibiotic therapy

Acknowledgements: the research was carried out within the framework of the scientific project (State Registration No. 20201691) entitled "To expand the hazelnut assortment for commercial and homestead cultivation through the development of high-tech and high-yielding cultivars, and work out the methods for their propagation, production, and nut storage". The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Krasinskaya T.A. Activity of gemmogenesis in regenerated plants of hazelnut cv. 'Akademyk Yablokov' and antibiotic therapy for elimination of bacterial contamination *in vitro*. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):50-60. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-50-60

Введение

Коллекции плодовых, ягодных, орехоплодных культур и винограда Республиканского научно-производственного дочернего унитарного предприятия «Институт плодоводства» Национальной академии наук Беларуси объявлены национальным достоянием (постановление Совета Министров Республики Беларусь № 1152 от 14.12.2012) и включены в Государственный реестр научных объектов, которые составляют национальное достояние, под реестровым номером 6. Данная коллекция по составу культур и видов не имеет аналогов в Беларуси, в то время как дублетные коллекции в других организациях республики насчитывают не более 250 образцов каждая.

Коллекционные фонды сохраняются в живом виде (по 3–6 растений каждого образца) в полевых условиях (*in situ*) на площади 20 га (аг. Самохваловичи, Минский район). В отделе биотехнологии Института плодоводства заложена дублетная коллекция в состоянии активного роста, сохраняющаяся в условиях *in vitro* при температуре +23…+25°С, которая ежегодно пополняется. На 1 января 2024 г. коллекция включала в себя 52 образца, каждый – по 10 растений (*Pyrus* L. – 5 образцов, *Prunus* L. – 5, *Vitis* L. – 3, *Fragaria* L. – 10, *Lonicera* L. – 5, *Rubus idaeus* L. – 8, *Rubus caesius* L. – 3, *Amelanchier* Medik. – 4, *Chaenomeles* Lindl. – 2, *Acca* O. Berg – 1, *Aronia* Mich. – 2, *Malus* Mill. – 2 и *Corylus* L. – 2 (сорта ‘Академик Яблоков’ и ‘Барселонский’). Коллекция *in vitro* ежегодно пополняется и представлена образцами различного эколого-географического происхождения (18 образцов в данной коллекции являются сортами белорусской селекции).

Наличие в дублетной коллекции в условиях *in vitro* двух сортов фундука объясняется трудностью получения стерильных и жизнеспособных эксплантов данной культуры из-за ряда специфичных проблем. Ряд исследований подтверждают, что наличие скрытой бактериальной инфекции, дрожжей, высокая активность синтеза фенолов эксплантами, их некротизация сдерживают получение жизнеспособной стерильной культуры растений (Boxus, Terzi, 1988; Reed et al., 1998; Silvestri et al., 2019).

В отделе биотехнологии активно ведутся работы по разработке протокола получения сертифицированного посадочного материала сортов фундука европейской и белорусской селекции с помощью культуры *in vitro*. Актуальность данных работ определяется большим спросом на безвирусный посадочный материал для закладки промышленных насаждений фундука районированными в Беларуси сортами: ‘Каталонский’, ‘Барселонский’, ‘Косфорд’, ‘Лал’ ®, ‘Яшма’ ®, Аркадий (проходит испытание в ГИИОСР). С целью расширения дублетной коллекции фундука планируют включить в нее сорта российской, итальянской, американской, грузинской и азербайджанской селекции. Для этого необходим подбор оптимальных условий культивирования в условиях *in vitro* для каждого из сортов.

Проблема получения стерильных эксплантов фундука заключается в том, что инфицирование не всегда можно обнаружить на стадии инициации культуры, некоторые внутренние патогены можно визуализировать на более поздних пассажах и они с трудом поддаются элиминации (Silvestri et al., 2019). Поверхностная стерилизация эксплантов растений и соблюдение правил антисептики не являются гарантией отсутствия так называемых скрытых (эндофитных) бактерий в культурах *in vitro* (Leifert et al., 1991; Dunaeva, Osledkin, 2015).

При культивировании растений *in vitro* стойкое бессимптомное бактериальное присутствие обусловлено, с одной стороны, подавлением роста бактерий факторами, сопутствующими культивированию эксплантов растений (pH, температура ниже бактериального оптимума, активация защитных механизмов), а с другой стороны – одновременной поддержкой бактерий за счет экссудатов, выделяемых эксплантами самих растений (Dunaeva, Osledkin, 2015).

Для элиминации бактериальной контаминации в культуре *in vitro* используют антибиотики, которые одновременно должны обладать бактерицидным действием, быть недорогими, нетоксичными для человека, растворимыми в среде и не влиять на ее pH (Thomas et al., 2006). Кроме того, эффективность антибиотикотерапии определяется не только типом и концентрацией антибиотиков, а также их экспозицией, но и видом самого растения (Boxus, Terzi, 1988; Orlikowska et al., 2017).

Выбор наиболее активных антибиотиков широкого спектра действия успешен, если идентифицированы целевые бактерии (Leifert et al., 1991). Barbara M. Reed с коллегами выделили из культуры растений-регенерантов фундука и идентифицировали следующие бактерии: *Agrobacterium radiobacter* B, *Pseudomonas fluorescens*, *Xanthomonas* spp., *Enterobacter asburiae*, *Flavobacterium* spp. и *Alcaligenes* spp. (Reed et al., 1998).

Для элиминации грибной инфекции эффективными средствами явились коммерческие препараты «Клад», «Ламадор» и «Сценик Комби», в водных растворах которых экспланты фундука сорта ‘Трапезунд’ предварительно замачивали на 24 часа: доля стерильных эксплантов составила 42 и 44% в зависимости от препарата, в то время как в контрольном варианте стерильных эксплантов получено не было (Rakhmangulov et al., 2019).

Для сохранения растений-регенерантов фундука в культуре *in vitro* важно подобрать минеральный и гормональный составы среды, которые будут обеспечивать максимальный коэффициент размножения морфологически хорошо развитых микрорастений. В качестве цитокинина для микроразмножения фундука используется 6-бензиламинопурин (6-БА), реже – зеатин (Pincelli-Souza et al., 2022). В зависимости от генотипа фундука применяют широкий диапазон концентраций 6-БА – от 1 до 5 мг/л (Seitmamutova et al., 2021). Нередко цитокинины используются в комбинации с другими фитогормонами: ауксинами (индолил-3-масляная, индолил-3-уксусная и α-нафтилуксусная кислоты – ИМК, ИУК и НУК), кинетином и гиббереллловой кислотой ($ГК_3$) (Seitmamutova et al., 2021; Yahyaoui et al., 2021).

Минеральный состав сред, используемый на этапе микроразмножения, также разнообразен в зависимости от генотипа растений фундука. В протоколе Европейской и средиземноморской организации по карантину и защите растений (EPPO) для получения растений в культуре *in vitro* на этапе микроразмножения и элонгации рекомендуется ½ Мурасиге – Скуга (MS) с модификациями (European and Mediterranean Plant Protection Organization, 2004). Для азербайджанских, итальянских сортов оптимальным минеральным составом для эффективного роста и развития растений-регенерантов отметились среды Driver and Kuniyuk Walnut (DKW) и Nas and Reed Medium (NRM) (Seitmamutova et al., 2021; Yahyaoui et al., 2021). Для гибридов фундука успешно использовали среду Lloyd&McCown Woody Plant Basal Medium (WPM) (Pincelli-Souza et al., 2022).

Цель работы – изучить влияние канамицина моносульфата и цефотаксима натриевой соли на элиминацию бактериальной инфекции и установить оптимальный состав питательных сред для культивирования и сохранения растений-регенерантов сорта фундука 'Академик Яблоков' в качестве дублетной коллекции в состоянии активного роста в условиях *in vitro*.

Материалы и методы

Объект исследования – растения-регенеранты краснолистного сорта фундука 'Академик Яблоков', свободные от основных сокопереносимых вирусов: вируса мозаики яблони (ApMV), вируса некротической кольцевой пятнистости сливы (PNRSV). Маточные растения предварительно тестировали с помощью DAS-ELISA наборами фирмы Bioreba (Швейцария). Согласно международному протоколу EPPO данные вирусы должны отсутствовать в сертифицированном посадочном материале (European and Mediterranean Plant Protection Organization, 2004).

Опыт 1. Антибактериальная терапия растений-регенерантов в культуре in vitro на этапе микроразмножения при однократном и двукратном воздействии антибиотиков.

Антибактериальную терапию растений-регенерантов в культуре *in vitro* проводили двумя способами:

- однократное воздействие антибиотиком на растения-регенеранты (длительность беспересадочного культивирования при однократном воздействии антибиотиков – 36 дней);
- двукратное воздействие антибиотиком на растения-регенеранты (длительность беспересадочного культивирования при двукратном воздействии антибиотиков: первое культивирование – 35 дней; второе – 46 дней).

Среды для антибиотикотерапии:

- модифицированная питательная среда MS с содержанием 5 мг/л 6-БА (производитель Acros Organics), 0,1 мг/л $ГК_3$ (производитель Alfa Aesar) и 0,01 мг/л ИМК (производитель Alfa Aesar), 4 таблетки нистатина/л (500 000 ЕД) (производитель ОАО «Борисовский завод медицинских препаратов») с добавлением 90 мг/л цефотаксима натриевой соли (производитель Duchefa Biochemie®), pH 5,52;
- модифицированная питательная среда MS с содержанием 5 мг/л 6-БА, 0,1 мг/л $ГК_3$ и 0,01 мг/л ИМК, 4 таблетки нистатина/л (500 000 ЕД) с добавлением 100 мг/л канамицина моносульфата (производитель Duchefa Biochemie®), pH 5,52.

Нистатин в питательную среду добавляли как антигрибковый препарат для сдерживания развития инфекционного фона в культуре *in vitro*. Концентрации антибиотиков для эксперимента определялись согласно рекомендациям производителя антибиотиков Sigma-Aldrich® при работе с культурой клеток (https://www.sigmaaldrich.com/by/en/technical-documents/protocol/cell-culture-and-cell-culture-analysis/plant-tissue-culture/antibiotics).

Антибиотики в питательную среду добавляли после ее автоклавирования с помощью холодной стерилизации, используя фильтры с порами диаметром 0,22 мкм; pH среды регулировали до ее автоклавирования.

После антибиотикотерапии растения-регенеранты пересаживали на модифицированную питательную среду MS с содержанием 5 мг/л 6-БА, 0,1 мг/л $ГК_3$ и 0,01 мг/л ИМК, 4 таблетки/л нистатина, pH 5,52.

Поствилияние антибиотикотерапии на дальнейший рост и развитие растений-регенерантов оценивали по следующим показателям: среднее количество растений-регенерантов в конгломерате, шт.; среднее количество микрочеренков на конгломерат, шт.; доля растений-регенерантов, визуально свободных от бактериальной инфекции, %; доля хорошо развитых растений-регенерантов, %.

Опыт 2. Влияние различных концентраций 6-БА в модифицированной среде Мурасиге-Скуга на активность процесса геммогенеза растений-регенерантов фундука в условиях in vitro.

Среды для микроразмножения:

- модифицированная питательная среда MS с содержанием 5 мг/л 6-БА, 0,1 мг/л $ГК_3$ и 0,01 мг/л ИМК, 4 таблетки нистатина/л (500 000 ЕД), pH 5,52;
- модифицированная питательная среда MS с содержанием 6 мг/л 6-БА, 0,1 мг/л $ГК_3$ и 0,01 мг/л ИМК, 4 таблетки нистатина/л (500 000 ЕД), pH 5,52;

Культивирование растений-регенерантов проводили в банках объемом 250 мл с объемом среды 40 мл (по 5 растений-регенерантов) и в пробирках объемом среды 7 мл (1 растение в пробирке) на протяжении 7 недель.

Опыт 3. Влияние различного минерального состава сред и различных видов цитокининов (зеатин и 6-бензиладенин) на активность процесса геммогенеза растений-регенерантов фундука в условиях in vitro.

Морфогенез растений-регенерантов изучали на следующих средах:

- модифицированная среда MS с содержанием 6-БА и зеатина (ZEATIN, TRANS-isomer, производитель Duchefa Biochemie®) в концентрации 5 мг/л;
- модифицированная среда DKW с содержанием 6-БА и зеатина в концентрации 6 мг/л (табл. 1).

Зеатин добавляли в питательную среду перед автоклавированием.

Растения-регенеранты культивировали по 7 шт. в банках объемом 250 мл с объемом питательной среды 40 мл. Длительность культивирования: 7 и 8 недель (в зависимости от опыта).

Опыт 4. Влияние желирующих агентов на активность геммогенеза.

Состав сред с различными желирующими компонентами:

- модифицированная питательная среда DKW с содержанием 6 мг/л 6-БА, 0,1 мг/л $ГК_3$ и 0,01 мг/л ИМК, 4,4 г/л агар-агара (упругость – 900), 4 таблетки нистатина/л, pH 5,57;
- модифицированная питательная среда DKW с содержанием 6 мг/л 6-БА, 0,1 мг/л $ГК_3$ и 0,01 мг/л ИМК, 2,2 г/л Gerlite® (производитель Duchefa Biochemie®), 4 таблетки нистатина/л, pH 5,57.

Культивирование растений-регенерантов проводили в банках (250 мл) с объемом среды 40 мл (5 растений-регенерантов в банке) на 13-м пассаже длительностью 7 недель.

Изучаемые показатели на этапе микроразмножения в культуре *in vitro*:

– средняя длина растения-регенеранта, см;

– среднее количество растений-регенерантов, полученных из конгломерата, шт.;

Таблица 1. Состав питательных сред на этапе микроразмножения

Table 1. Composition of nutrient media for the micropropagation stage

Обозначение питательной среды	Минеральный состав	Ионы железа	Гормональный состав	Дополнительные компоненты среды
MS 5 мг/л 6-БА	Модифицированная среда MS	200 мг/л FeEDDHA	5 мг/л 6-БА 0,01 мг/л ИМК 0,1 мг/л $ГК_3$	4 таблетки нистатина (500 000 ЕД)/л
MS 5 мг/л зеатин			5 мг/л зеатин 0,01 мг/л ИМК 0,1 мг/л $ГК_3$	
DKW 6 мг/л 6-БА	Модифицированная среда DKW		6 мг/л 6-БА 0,01 мг/л ИМК 0,1 мг/л $ГК_3$	
DKW 6 мг/л зеатин			6 мг/л зеатин 0,01 мг/л ИМК 0,1 мг/л $ГК_3$	

– среднее количество микрочеренков на конгломерат, шт.

Условия культивирования: фотопериод – 16/8 ч, температура – 23–25°С, освещение – 3000–3500 лк (лампы OSRAM L36W/765 Cool Daylight).

Опыты проводили в 3–4-кратной повторности, по 7–15 растений в повторности.

Статистическую обработку осуществляли в программе Statistica 10.0. Одно- и двухфакторный анализ проводили с помощью ANOVA, для сравнения средних значений использовали критерий Дункана.

Результаты и их обсуждение

Антибактериальная терапия растений-регенерантов в культуре in vitro на этапе микроразмножения при однократном воздействии антибиотиков.

При однократном воздействии антибиотиков в культуре *in vitro* элиминация бактериальной инфекции отмечалась при использовании канамицина моносульфата (доля визуально свободных от инфекции растений-регенерантов составила 83,3%) (табл. 2). На средах с цефотаксима натриевой солью визуально свободных от бактериальной инфекции растений-регенерантов не наблюдали.

В то же время канамицина моносульфат характеризовался высокой фитотоксичностью, вследствие чего закладка и развитие новых растений в конгломерате были в два раза ниже (1,0 шт.), чем на средах с цефотаксима натриевой солью (2,3 шт.) (см. табл. 2). Та же тенденция отмечалась и при росте растений-регенерантов: активность роста растений-регенерантов выше на среде с цефотаксима натриевой солью (среднее количество микрочеренков, которые возможно получить при черенковании растений-регенерантов, – 3,7 шт., что в 2,5 раза выше, чем на среде с канамицина моносульфатом).

Оценка дальнейшего развития растений-регенерантов фундука после антибиотикотерапии в культуре *in vitro* позволила достоверно утверждать о поствлиянии антибиотиков на дальнейший рост и развитие растений-регенерантов на средах без антибиотиков (табл. 3).

Растения-регенеранты после сред с антибиотиком канамицина моносульфатом характеризовались снижением активности процессов закладки новых растений и их роста: среднее количество растений-регенерантов в конгломерате – 1,1 шт., и растения были небольшого

Таблица 2. Влияние однократного воздействия антибиотиков на развитие растений-регенерантов фундука и элиминацию бактериальной инфекции в культуре *in vitro*

Table 2. The effect of a single exposure to antibiotics on the development of regenerated hazelnut plants and elimination of bacterial infection *in vitro*

Антибиотик для антибиотикотерапии	Среднее количество растений-регенерантов в конгломерате, шт.	Среднее количество микрочеренков на конгломерат, шт.	Доля растений-регенерантов, визуально свободных от бактериальной инфекции, %
	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,01
Цефотаксима натриевая соль 90 мг/л	2,3a*	3,7a	0b
Канамицина моносульфат 100 мг/л	1,0b	1,5b	83,3a

Примечание: * – разное буквенное значение в столбцах означает достоверное различие между средними

Note: * – different letters in the columns indicate a statistically significant difference between the means

Таблица 3. Поствлияние однократного воздействия антибиотиков на развитие растений-регенерантов фундука и элиминацию бактериальной инфекции в культуре *in vitro* при культивировании на модифицированной питательной среде MS с 5 мг/л 6-БА

Table 3. The aftereffect of a single exposure to antibiotics on the development of regenerated hazelnut plants and elimination of bacterial infection *in vitro* on a modified MS nutrient medium with 5 mg/L 6-BA

Антибиотик для антибиотикотерапии	Среднее количество растений-регенерантов в конгломерате, шт.	Среднее количество микрочеренков на конгломерат, шт.	Доля растений-регенерантов, визуально свободных от бактериальной инфекции, %	Доля некротизированных растений-регенерантов, %	Доля хорошо развитых растений-регенерантов с визуальной инфекцией, %
	p < 0,05	p < 0,01	p < 0,01	p < 0,01	p < 0,01
цефотаксима натриевая соль 90 мг/л	1,5a	1,7a	0b	0b	100,0b
канамицина моносульфат 100 мг/л	1,1b	1,1b	77,8a	77,8a	22,2a

размера, вследствие чего микрочеренкование не проводили. Визуально свободными от бактериальной инфекции были 77,8% растений-регенерантов, но они погибли вследствие некротизации. У 22,2% растений-регенерантов стала проявляться скрытая бактериальная инфекция (рис. 1). Однако стоит отметить, что бактериальная инфекция, имеющая вид капсулы у основания растений-регенерантов, не оказывала негативного влияния на их рост и развитие.

Таким образом, антибиотик канамицина моносульфат при однократном воздействии на этапе микроразмножения в культуре *in vitro* элиминировал бактериальную инфекцию у 83,3% растений-регенерантов. При дальнейшем культивировании на средах без антибиотика отмечалась его поствлияние в виде высокой фитотоксичности: некроз у 77,8% растений-регенерантов и снижение активности процессов геммогенеза. Цефотаксима натриевая соль не элиминировала бактериальную инфекцию; активность геммогенеза и роста растений-регенерантов сохранялись как при антибиотикотерапии, так и при последующем культивировании на средах без антибиотиков.

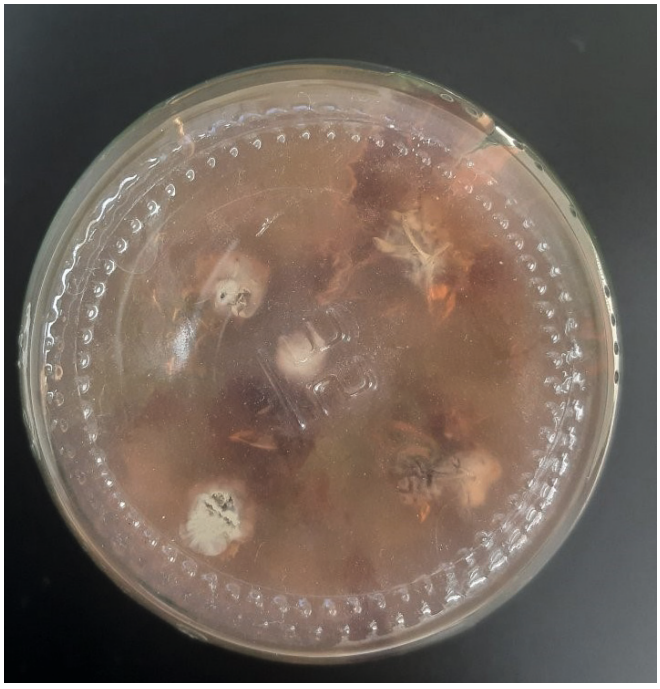


Рис. 1. Бактериальная инфекция в виде капсулы у основания растений-регенерантов

Fig. 1. Encapsulated bacterial infection at the base of regenerated hazelnut plants

Антибактериальная терапия растений-регенерантов в культуре in vitro на этапе микроразмножения при двукратном воздействии антибиотиков.

При двукратном воздействии антибиотиков в культуре *in vitro* эффективность элиминации бактериальной инфекции отмечалась при использовании канамицина моносульфата (доля визуально свободных растений-регенерантов составила 100% сразу после 35 дней антибиотикотерапии) (табл. 4). Данная тенденция сохранялась и после второго этапа терапии.

Цефотаксима натриевая соль не элиминировала бактериальную инфекцию. Рост растений-регенерантов и активность геммогенеза были выше, чем на средах с канамицина моносульфатом: после 81 дня антибиотикотерапии среднее количество растений-регенерантов в конгломерате составило 1,6 шт., в то время как на средах с канамицина моносульфатом процесс геммогенеза не отмечался (см. табл. 4).

Дальнейшее культивирование растений-регенерантов после 81 дня антибиотикотерапии не проводили в силу слабого развития растений в вариантах опыта.

Таким образом, двукратное применение (общее время воздействия антибиотиков – 81 день) канамицина моносульфата в концентрации 100 мг/л в питательной среде на этапе микроразмножения способствовало получению 100% визуально стерильных растений-регенерантов. Однако канамицина моносульфат вызывал к концу терапии некротизацию части растений, и живыми сохранялись только 87,3%. Цефотаксима натриевая соль в концентрации 90 мг/л не элиминировала бактериальную инфекцию; темпы роста и активности геммогенеза снизились по сравнению с результатами первого этапа воздействия антибиотика (среднее количество растений-регенерантов в конгломерате составило 1,6 шт., среднее количество микрочеренков – 1,8 шт.).

Влияние различных концентраций 6-БА в модифицированной среде Мурасиге – Скуга на геммогенез растений-регенерантов.

В ходе анализа результатов отмечалось высокодостоверное влияние концентраций 6-БА на активность процесса геммогенеза ($p < 0,001$) (табл. 5). Однако с практической точки зрения разница в количестве растений-регенерантов в конгломерате на двух средах была незначительна: 1,8 шт. на среде с 5 мг/л 6-БА, 1,9 шт. на среде с 6 мг/л 6-БА.

При культивировании растений-регенерантов фундука в банках среднее количество растений-регенерантов в конгломерате достоверно увеличивалось до 2,1 шт., в то время как в пробирках данный показатель составил 1,7 шт. (рис. 2). Рост растений-регенерантов не определялся емкостью культивирования (см. табл. 5). Лучшие показатели роста отмечались на среде MS 5 мг/л 6-БА в пробирках и на среде MS 6 мг/л 6-БА в банках, на которых среднее количество полученных микрочеренков с конгломерата составило 2,3 шт.

Таким образом, максимальное количество растений-регенерантов фундука отмечалось при культивировании в банках объемом 250 мл на модифицированной питательной среде MS с 6-БА в концентрации 6 мг/л: среднее количество растений-регенерантов в конгломерате – 2,2 шт., среднее количество микрочеренков – 2,3 шт.

Таблица 4. Влияние двукратного воздействия антибиотиков на развитие растений-регенерантов фундука и элиминацию бактериальной инфекции в культуре *in vitro*

Table 4. The effect of a twofold exposure to antibiotics on the development of regenerated hazelnut plants and elimination of bacterial infection *in vitro*

Длительность антибиотикотерапии	Среда	Среднее количество растений-регенерантов в конгломерате, шт.	Среднее количество микрочеренков на конгломерат, шт.	Доля растений-регенерантов, визуально свободных от бактериальной инфекции, %	Доля жизнеспособных растений-регенерантов, %	Доля растений-регенерантов с каллусом, %
		$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$
Первое воздействие (35 дней)	цефотаксима натриевая соль 90 мг/л	1,9a	2,3a	0	100,0a	0
	канамицина моносульфат 100 мг/л	1,2c	1,3c	100,0a	100,0a	0
Второе воздействие (46 дней)	цефотаксима натриевая соль 90 мг/л	1,6b	1,8b	0	100,0a	100,0a
	канамицина моносульфат 100 мг/л	1,0d	1,0d	100,0a	87,3b	0

Таблица 5. Влияние концентраций 6-БА на процесс геммогенеза растений-регенерантов фундука *in vitro*
Table 5. The effect of 6-BA concentrations on the process of gemmogenesis in regenerated hazelnut plants *in vitro*

Питательная среда (фактор А)	Емкость для культивирования (фактор В)	Среднее количество растений-регенерантов в конгломерате, шт.	Среднее количество микрочеренков на конгломерат, шт.
		p < 0,001	p < 0,001
MS 5 мг/л 6-БА	пробирки	1,8c	2,3a
	банки	1,9b	1,9b
MS 6 мг/л 6-БА	пробирки	1,6d	2,0b
	банки	2,2a	2,3a
Питательная среда (фактор А)			
		p <	p <
MS 5 мг/л 6-БА		1,8b	2,1
MS 6 мг/л 6-БА		1,9a	2,2
Емкость для культивирования (фактор В)			
		p <	p <
Пробирки		1,7b	2,1
Банки		2,1a	2,1

Примечание: * – разное буквенное значение в столбцах означает достоверное различие между средними при p = 0,95
Note: * – different letters in the columns indicate a statistically significant difference between the means at $p = 0.95$



Рис. 2. Растения-регенеранты на модифицированной среде DKW с 6 мг/л 6-БА
Fig. 2. Regenerated hazelnut plants on a modified DKW medium with 6 mg/L 6-BA

Влияние различного минерального состава сред и различных видов цитокининов (зеатин и 6-бензиладенин) на активность процесса геммогенеза растений-регенерантов фундука в условиях in vitro.

Активность геммогенеза растений-регенерантов фундука на модифицированной питательной среде MS с использованием 5 мг/л 6-БА или зеатина достоверно не определялась видом цитокинина (среднее количество растений-регенерантов в конгломерате на обеих средах – 1,0–1,05) (табл. 6). Средняя длина растений на среде с 5 мг/л зеатина была в два раза выше, чем на среде с 5 мг/л 6-БА, и составила 2,2 см.

Микрочеренкование растений-регенерантов позволяет увеличить коэффициент размножения. В нашем эксперименте каждый микрочеренок имел минимум две почки. В связи с большим расстоянием между почками у растений-регенерантов, полученных на среде с зеатином, среднее количество микрочеренков достоверно не

Таблица 6. Развитие растений-регенерантов фундука на модифицированных питательных средах MS с 6-бензиладенином и зеатином

Table 6. Development of regenerated hazelnut plants on a modified MS medium with 6-benzyladenine and zeatin

Питательная среда	Среднее количество растений-регенерантов в конгломерате, шт.	Средняя длина растения-регенеранта, см	Среднее количество микрочеренков, полученных из конгломерата, шт.
MS 5 мг/л 6-БА	1,05	1,2b	1,1
MS 5 мг/л зеатина	1,0	2,2a	1,3

отличалось от количества микрочеренков, полученных из конгломератов на среде с 6-БА. В конечном итоге практический выход среднего количества микрочеренков не определялся видом цитокинина и варьировал от 1,1 до 1,3.

Активность геммогенеза растений-регенерантов фундука на модифицированной питательной среде DKW с использованием 6 мг/л 6-БА была выше в два раза по сравнению с растениями-регенерантами, культивируемыми на среде с зеатином (среднее количество растений-регенерантов в конгломерате на среде с 6-БА – 2,05) (табл. 7).

На среде с зеатином у 29,3% растений-регенерантов почки не трогались в рост, на среде с 6-БА все посаженные растения имели хорошо развитый вид. Кроме того, на среде с зеатином отмечалось корнеобразование: 17,4% растений-регенерантов сформировали по одному корню. На среде с 6-БА корнеобразования не отмечалось (см. табл. 7).

Для улучшения процесса геммогенеза для орехоплодных культур используют различные желирующие агенты (агар-агар, Gerlite®), варьируя их количество, создавая твердую или полужидкую среду. На среде с агар-агаром среднее количество растений-регенерантов сорта ‘Академик Яблоков’ и среднее количество микрочеренков, полученных из конгломерата, составили 2,5 и 3,3 шт. соответственно, что достоверно выше, чем на среде с использованием желирующего компонента Gerlite® (табл. 8). Однако, несмотря на статистически достоверную разницу, значения данных показателей очень близки и на практике существенного влияния на количество получаемого материала не окажут.

На среде с добавлением Gerlite® средняя длина стебля растений-регенерантов была достоверно ($p < 0,001$) выше на 0,8 см. Однако количество микрочеренков не увеличилось, так как рост отмечался за счет увеличения длины междоузлий, а не за счет активного образования новых почек.

Таким образом, для микроразмножения сорта ‘Академик Яблоков’ в качестве желирующего компонента целесообразно использовать агар-агар упругостью (силой) 900 в количестве 4,4 г/л.

Таблица 7. Развитие растений-регенерантов фундука на модифицированных питательных средах DKW с 6-бензиладенином и зеатином

Table 7. Development of regenerated hazelnut plants on a modified DKW medium with 6-bensyladenine and zeatine

Питательная среда	Среднее количество растений-регенерантов в конгломерате, шт.	Среднее количество микрочеренков, полученных из конгломерата, шт.	Доля развивающихся растений-регенерантов, %	Доля растений-регенерантов с корневой системой, %
	$p < 0,001$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$
DKW 6 мг/л 6-БА	2,05a	2,9a	100,0a	0,0b
DKW 6 мг/л зеатина	1,0b	1,9b	70,7b	17,4a

Таблица 8. Показатели этапа микроразмножения при использовании агар-агара и Gerlite®

Table 8. Development of regenerated hazelnut plants with agar-agar and Gerlite® in the nutrient medium

Вид желирующего агента	Среднее количество растений-регенерантов в конгломерате, шт.	Средняя длина растений-регенерантов, см	Среднее количество микрочеренков, шт.
	$p < 0,05$	$p < 0,001$	$p < 0,05$
Агар-агар	2,5a	3,8b	3,3a
Gerlite®	2,3b	4,6a	3,1b

Заключение

Антибиотик канамицина моносульфат в концентрации 100 мг/л при однократном воздействии на этапе микроразмножения в культуре *in vitro* элиминировал бактериальную инфекцию у 83,3% растений-регенерантов. При дальнейшем культивировании на средах без антибиотиков отмечалось фитотоксичное поствлияние канамицина моносульфата, вызывающее некроз у 77,8% растений-регенерантов и снижение активности процессов геммогенеза и роста. Цефотаксима натриевая соль в концентрации 90 мг/л не элиминировала бактериальную инфекцию, но активность геммогенеза и рост растений-регенерантов сохранялись при последующем культивировании на средах без антибиотиков.

Двукратное применение (общей длительностью воздействия 81 день) канамицина моносульфата в концентрации 100 мг/л в питательной среде на этапе микроразмножения способствовало получению 100% визуально стерильных растений-регенерантов. Однако данный антибиотик вызывал к концу терапии некротизацию растений, и жизнеспособность сохраняли только 87,3%. Цефотаксима натриевая соль в концентрации 90 мг/л не элиминировала бактериальную инфекцию. Низкий темп роста и активность геммогенеза сохранялись (среднее количество растений-регенерантов в конгломерате составило 1,6 шт., среднее количество микрочеренков – 1,8 шт.).

Максимальное количество растений-регенерантов фундука получено при их культивировании в банках объемом 250 мл с объемом среды 40 мл (модифицированная питательная среда Мурасиге – Скуга с 6-БА в концентрации 6 мг/л): среднее количество растений-регенерантов в конгломерате – 2,2 шт., среднее количество микрочеренков – 2,3 шт.

Максимальная активность геммогенеза (среднее количество растений-регенерантов в конгломерате – 2,05 шт., среднее количество микрочеренков – 2,9 шт.) у фундука отмечалась на питательной среде с модифицированным минеральным составом DKW и гормональным составом 6 мг/л 6-БА, 0,01 мг/л ИМК и 0,1 мг/л $ГК_3$. Использование зеатина в качестве цитокинина для стимуляции адвентивного морфогенеза или активации роста пазушных меристем в концентрации 5 и 6 мг/л малоэффективно по сравнению с 6-БА.

В качестве желирующего компонента питательной среды целесообразно использовать агар-агар упругостью (силой) 900 в количестве 4,4 г/л.

References / Литература

Boxus Ph., Terzi J.M. Control of accidental contaminations during mass propagation. *Acta Horticulture*. 1988;225:189-191. DOI: 10.17660/ActaHortic.1988.225.21

Dunaeva S.E., Osledkin Yu.S. Bacterial microorganisms associated with the plant tissue culture: identification and possible role (review). *Agricultural Biology*. 2015;50(1):3-15. [in Russian] (Дунаева С.Е., Оследкин Ю.С. Бактериальные микроорганизмы, ассоциированные с тканями растений в культуре *in vitro*: идентификация и возможная роль (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2015;50(1):3-15). DOI: 10.15389/agrobiology.2015.1.3rus

European and Mediterranean Plant Protection Organization. Schemes for the production of healthy plants for planting: Certification scheme for hazelnut. *EPPO Bulletin*. 2004;34(2):149-153. DOI: 10.1111/j.1365-2338.2004.00712.x

Leifert C., Camotta H., Wright S.M., Waites B., Cheyne V.A., Waites W.M. Elimination of *Lactobacillus plantarum, Corynebacterium* spp., *Staphylococcus saprophyticus* and *Pseudomonas paucimobillis* from micropropagated *Hemerocallis, Choisya* and *Delphinium* cultures using antibiotics. *Journal of Applied Microbiology.* 1991;71(4):307-330. DOI: 10.1111/j.1365-2672.1991.tb03795

MERCK. Plant Tissue Culture. Antibiotics in Plant Tissue Culture Protocol: [website]. Available from: https://www.sigmaaldrich.com/by/en/technical-documents/protocol/cell-culture-and-cell-culture-analysis/plant-tissue-culture/antibiotics [accessed May 21, 2024].

Orlikowska T., Nowak K., Reed B.M. Bacteria in the plant tissue culture environment. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. 2017;128(3):1-22. DOI: 10.1007/s11240-016-1144-9

Pincelli-Souza R.P., Sousa Moreira L., Cohen D.J. Improvements for the micropropagation of hybrid hazelnut (*C. americana* × *C. avellana*). *Horticulturae.* 2022;8(9):849. DOI: 10.3390/horticulturae8090849

Rakhmangulov R.S., Urazbakhtina N.A., Simonyan T.A., Matskiv A.O., Tsaturyan G.A. Influence of fungicides on the introduction of hazelnut shoots *in vitro*. *New Technologies*. 2019;4(50):191-199. [in Russian] (Рахмангулов Р.С., Уразбахтина Н.А., Симонян Т.А., Мацькив А.О., Цатурян Г.А. Влияние фунгицидных препаратов на введение побегов фундука в условия *in vitro*. *Новые технологии*. 2019;4(50):191-199). DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10419

Reed B.M., Mentzer J., Tanprasert P., Yu X. Internal bacterial contamination of micropropagated hazelnut: identification and antibiotic treatment. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 1998;52(1):67-70. DOI: 10.1023/A:1005989000408

Seitmamutova E.S., Fedorov V.V., Gavrilenko I.V., Matyash Yu.S., Gavrilenko A.V., Shanin D.A. et al. Development and optimization of the method of clonal micropropagation of garden forms of hazelnuts (*Corylus* sp.). *Plant Biology and Horticulture: Theory, Innovation*. 2021;(161):36-46. [in Russian] (Сеитмамутова Э.С., Федоров В.В., Гавриленко И.В., Матяш Ю.С., Гавриленко А.В., Шанин Д.А. и др. Разработка и оптимизация метода клонального микроразмножения садовых форм фундука (*Corylus* sp.). *Биология растений и садоводство: теория, инновации*. 2021;(161):36-46). DOI: 10.36305/2712-7788-2021-4-161-36-46

Silvestri C., Rugini E., Cristofori V. The effect of $CuSO_4$ for establishing *in vitro* culture, and the role nitrogen and iron sources in *in vitro* multiplication of *Corylus avellana* L. cv. Tonda Gentile Romana. *Plant Biosystems*. 2019;154(1):17-23. DOI: 10.1080/11263504.2018.1549610

Thomas P., Prabhakara B.S., Pitchaimuthu M. Cleansing the long-term micropropagated triploid watermelon cultures from covert bacteria and field testing the plants for clonal fidelity and fertility during the 7–10 year period *in vitro*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2006;85(3):317-329. DOI: 10.1007/s11240-006-9083-5

Yahyaoui E., Marioni D.T., Botta R., Ruffa P., Germana M.A. Is it possible to produce certified hazelnut plant material in Sicily? Identification and recovery of Nebrodi genetic resources, *in vitro* establishment, and innovative sanitation technique from *Apple Mosaic Virus*. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:778142. DOI: 10.3389/fpls.2021.778142

Информация об авторе

Татьяна Анатольевна Красинская, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, доцент, Институт плодоводства, 223013 Беларусь, Самохваловичи, ул. Ковалева, 2, tatsiana.krasinskaya@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-9304-420X

Information about the author

Tatsiana A. Krasinskaya, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Associate Professor, Institute for Fruit Growing, 2 Kovaleva St., Samokhvalovichi 223013, Belarus, tatsiana.krasinskaya@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-9304-420X

Статья поступила в редакцию 29.09.2023; одобрена после рецензирования 27.05.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 29.09.2023; approved after reviewing on 27.05.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 633.1:581.192:543.421/.424
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-61-70

CC BY

Экспресс-оценка основных хозяйственно значимых показателей в зерне озимых и яровых форм тритикале с помощью инфракрасной спектроскопии

В. С. Попов[1], Н. Г. Конькова[1], Т. В. Шеленга[1], В. И. Хорева[1], И. А. Кибкало[1], М. Х. Гаджимагомедова[2], Л. Г. Суварян[1, 3]

[1] *Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия*

[2] *Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дагестанская опытная станция, Дербентский район, Россия*

[3] *Гюмрийская селекционная станция, Ширакская область, Армения*

Автор, ответственный за переписку: Татьяна Васильевна Шеленга, tatianashelenga@yandex.ru

Актуальность. Получены калибровочные модели для экспресс-оценки хозяйственно ценных показателей (цветность, зольность, влажность, содержание белка, крахмала, амилозы, клетчатки) в зерновках озимых и яровых форм тритикале из коллекции ВИР методом ближней инфракрасной спектроскопии (БИК-спектроскопии). С помощью разработанных калибровочных моделей можно будет определить направление наиболее оптимального использования отдельных образцов тритикале.

Материалы и методы. Показатели хозяйственной ценности (цветность, зольность, влажность, содержание белка, крахмала, амилозы, клетчатки) изучались на выборке из 32 образцов зерна озимых и яровых форм тритикале (*Triticosecale* Wittm. & A. Camus), репродуцированных в 2021–2022 гг. на Дагестанской опытной станции – филиале ВИР Калибровочные модели для определения цветности, зольности, влажности, содержания белка, амилозы, крахмала, клетчатки в зерне тритикале созданы на базе ИК-анализатора MATRIX-I (Bruker Optics, Германия). Калибровочные модели разрабатывались на основе значений, полученных классическими методами биохимического анализа, принятыми в ВИР.

Результаты. Достоверность калибровочных моделей проверялась на рандомно взятой партии образцов зерна тритикале путем сравнения результатов, полученных с помощью новых калибровок и методов биохимического анализа. В результате проверки установлено, что показатели, полученные с помощью калибровочных кривых для определения содержания белка и зольности, являлись достоверными, другие модели нуждаются в доработке.

Заключение. Калибровочные модели для определения белка и зольности, полученные с помощью ИК-анализатора MATRIX-I, могут применяться для экспресс-оценки зерна озимых и яровых форм тритикале. Использование метода дает возможность ускорить процесс получения характеристики культуры по ряду основных хозяйственно ценных показателей и сохранить ценный селекционный материал.

Ключевые слова: яровые и озимые формы тритикале, калибровочная модель, метод БИК-спектроскопии, цветность, зольность, влажность, белок, крахмал, амилоза, клетчатка

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке государственного проекта «Хлеба России» (соглашение № 075-15-2021-1066 от 28 сентября 2021 г.).
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Попов В.С., Конькова Н.Г., Шеленга Т.В., Хорева В.И., Кибкало И.А., Гаджимагомедова М.Х., Суварян Л.Г. Экспресс-оценка основных хозяйственно значимых показателей в зерне озимых и яровых форм тритикале с помощью инфракрасной спектроскопии. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):61-70. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-61-70

© Попов В.С., Конькова Н.Г., Шеленга Т.В., Хорева В.И., Кибкало И.А., Гаджимагомедова М.Х., Суварян Л.Г., 2024

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-61-70

Rapid assessment of main agronomic indicators in the grain of winter and spring forms of triticale using infrared spectroscopy

Vitaliy S. Popov[1], Nina G. Konkova[1], Tatiana V. Shelenga[1], Valentina I. Khoreva[1], Ilya A. Kibkalo[1], Mina Kh. Gadjimagomedova[2], Lusine G. Suvaryan[1, 3]

[1] *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia*

[2] *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Dagestan Experiment Station, Derbent, Russia*

[3] *Gyumri Breeding Station, Shirak Marz, Armenia*

Corresponding author: Tatiana V. Shelenga, tatianashelenga@yandex.ru

Background. Calibration models were developed for rapid assessment of crucial agronomic indicators in the grain of winter and spring triticale from the VIR collection using near-infrared spectroscopy (NIRS). These calibration models will enable users to find the most optimal utilization trends for individual triticale accessions.
Materials and methods. Indicators of agronomic value (coloration, moisture, and the content of ash, protein, starch, amylose and fiber) were studied on a set of 32 grain samples collected from winter and spring triticale forms (*Triticosecale* Wittm. & A. Camus) reproduced in 2021–2022 at the Dagestan Experiment Station, a branch of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR). Calibration models for the assessment of the said agronomic characters in triticale grain were developed on the platform of the MATRIX-I IR analyzer (Bruker Optics, Germany) and based on the values obtained by classical methods of biochemical analysis adopted at VIR.
Results. Reliability of the calibration models was tested on a randomized batch of triticale grain samples: the results of the new calibrations were compared with those of the conventional biochemical analysis. This verification showed that the data obtained through the use of calibration curves were reliable for protein and ash content, while other models required further improvement.
Conclusion. Calibration models for measuring protein and ash content developed on the basis of the MATRIX-I IR analyzer can be used to perform rapid assessment of the winter and spring triticale grain. This method makes it possible to accelerate the process of obtaining crop characteristics for a number of basic agronomic characters and preserve valuable breeding material.

Keywords: spring and winter triticale forms, calibration model, near-infrared spectroscopy, coloration, ash content, protein, moisture, starch, amylase, fiber

Acknowledgements: the work was supported by the funds of the state project “Bread of Russia” (Agreement No. 075-15-2021-1066 of September 28, 2021).
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Popov V.S., Konkova N.G., Shelenga T.V., Khoreva V.I., Kibkalo I.A., Gadjimagomedova M.Kh., Suvaryan L.G. Rapid assessment of main agronomic indicators in the grain of winter and spring forms of triticale using infrared spectroscopy. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):61-70. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-61-70

Введение

Тритикале – зерновая культура, созданная путем скрещивания пшеницы и ржи, представляет собой амфидиплоид пшенично-ржаных гибридов (Grabovets, Krokhmal, 2019). Тритикале относится к семейству Мятликовые (Poaceae), в настоящее время выделена в отдельный самостоятельный полиморфный ботанический род *Triticosecale* Wittm. & A. Camus.

По химическому составу зерно тритикале представляет собой типичный злак, характеризующийся высоким содержанием углеводов и белка, варьирующим в очень широких пределах в зависимости от сорта, применяемой агротехники и других факторов (Kazakov, 1980; Chikida et al., 2015; Kondratenko et al., 2015). В Российской Федерации тритикале имеет три основных направления хозяйственного использования: фураж, хлебопечение, зеленая кормовая масса (Gruzdev et al., 1976; Kurkiev, 2000; Grabovets, Krokhmal, 2019). Оценка основных хозяйственно ценных показателей зерна у озимых и яровых форм тритикале, таких как цветность, зольность, влажность, содержание белка, амилозы, крахмала, клетчатки, является одним из ключевых звеньев для определения направления использования того или иного образца.

Химические (традиционные) методы определения показателей зерна (Ermakov et al.,1987) требуют больших затрат расходных материалов, реактивов, являются трудоемкими и довольно длительными; кроме того, на проведение анализов расходуется ценный зерновой материал в виде муки. Поэтому одним из оптимальных методов экспресс-оценки качества являются ИК-анализаторы в ближней области инфракрасного спектра (Efimenko et al., 2015, 2016; Abd Manaf, Chung, 2018; Efimenko S.G., Efimenko S.K., 2019). Метод основан на получении индивидуальной ИК-спектральной характеристики образца (Heise et al., 2009). Сам спектр (в шкале волновых чисел) образуется после выполнения специальных математических расчетов интерферограммы (обратное преобразование Фурье) и в дальнейшем сопоставляется с данными, полученными рутинными биохимическими методами, что выражается в структуре новой калибровочной модели, которую можно использовать для экспресс-оценки качества той или иной культуры. При этом можно пользоваться как мучным, так и зерновым модулем подачи материала для анализа, что значительно расширяет возможности сохранения ценного материала для последующих селекционных работ (Khoreva et al., 2022; Efimenko S.G., Efimenko S.K., 2022).

В настоящей статье описано получение калибровочных моделей для оценки основных показателей хозяйственной ценности зерна тритикале с помощью ИК-анализатора MATRIX-I (Bruker, Германия) при использовании зернового модуля подачи материала.

Цель работы – разработка калибровочных моделей для оценки цветности, зольности, влажности, содержания белка, амилозы, крахмала, клетчатки в образцах зерна озимых и яровых форм тритикале (32 образца); апробация разработанных калибровочных кривых и оценка достоверности результатов, полученных с применением ИК-анализатора MATRIX-I.

Ценность полученных калибровочных кривых состоит в снижении стоимости скрининга образцов зерна озимых и яровых форм тритикале по основным показателям хозяйственной ценности (цветность, зольность, влажность, содержание белка, крахмала, амилозы, клетчатки), увеличении производительности труда (количество образцов в единицу рабочего времени). При необходимости разработанные ИК-модели калибровочных кривых можно обновлять и дополнять новыми данными, полученными для образцов последующих лет репродукций в условиях различных регионов РФ, что дает возможность увеличения достоверности ИК-моделей для зерна тритикале.

Материалы и методы

Исходным материалом для исследований послужили образцы тритикале различного происхождения и типа развития из мировой коллекции ВИР. Всего для построения калибровочной модели была взята выборка из 32 образцов зерна озимых (12) и яровых (20) форм различного происхождения (табл. 1).

Работа проводилась в 2021–2022 гг. на Дагестанской опытной станции – филиале ВИР. Дагестанская ОС расположена в южной плоскостной зоне Дагестана, на 8,0 м ниже уровня моря. Рельеф выровненный. Почвы каштановые, среднегумусные, глубоко столбчатые солонцы, тяжелосуглинистой разности. Климат сухой, субтропический. Среднее количество осадков составляет 200–500 мм, сумма активных температур – 3400–4500°С (Batasheva, Abdullaev, 2012).

Полевые опыты закладывали в зернопаропропашном севообороте в оптимальные для озимого (октябрь) и ярового (март) тритикале сроки в соответствии с методическими разработками ВИР (Merezhko et al., 1999). Учитывая особенности репродукции культуры в условиях Дагестанской ОС по сравнению с другими регионами РФ, данная работа будет иметь значение для оценки образцов тритикале, включенных в селекционный процесс в условиях Северо-Кавказского федерального округа.

Зерно тритикале предварительно измельчалось на лабораторной мельнице LabMill-1 (LaborMim, Венгрия) до состояния мелкодисперсной муки с размером частиц до 10 мкм. Из однородной средней пробы брали навески муки на биохимический анализ, который проводили в отделе биохимии и молекулярной биологии по методикам, принятым в ВИР (Ermakov et al., 1987).

Содержание белка/азота определяли по методу Кьельдаля (коэффициент для тритикале – 5,7) на автоматическом анализаторе белка Kjeltec 2200 (Швеция); содержание крахмала – поляриметрическим методом Эверса (коэффициент перерасчета для тритикале – 183,4) на автоматическом поляриметре-сахариметре SAC-i (Япония); содержание амилозы в зерне – спектрофотометрическим методом по калибровочной кривой, построенной по чистым растворам амилозы на спектрофотометре Novaspec II (Англия); содержание клетчатки – по весовому методу Венде на экстракционной установке Dosi-Fiber FIWE-6 (VELP, Италия); содержание сухого вещества (влажности) – методом, основанном на взвешивании части измельченной средней пробы до и после высушивания при температуре 100–102°С до постоянной массы с использованием сушильного шкафа Memmert (Германия); зольность определяли методом, принятым в лаборатории технической оценки ВИР (Ermakov et al., 1987); цветность – по ГОСТ 10967-2019 (GOST 10967-2019…, 2019). Для построения калибровочной модели использовали средние значения показателей двух биологических повторностей каждого образца тритикале. Спектры образцов зерна озимых и яровых форм тритикале регистрировались в диапазоне 4000–12 800 $см^{-1}$

Таблица 1. Список образцов озимых и яровых форм тритикале, взятых в исследование
Table 1. List of winter and spring triticale accessions selected for the study

№ по каталогу ВИР	Происхождение	Название
Яровые		
3676	Ленинградская обл.	Скорый
4008	Польша	Dublet
4092	Владимирская обл.	Россика
4140	Ростовская обл.	Саур
4150	Владимирская обл.	Доброе
4153	Мексика	МХ-51
4204	Дагестан	ПРАГ 580
4210	Краснодарский край	Ярик 11
4211	Краснодарский край	Савва
4212	Владимирская обл.	Дорофея
4222	Владимирская обл.	Слово
4225	Тюменская обл.	236-2СП 1-16
4226	Тюменская обл.	237-2СП 1-16
4237	Краснодарский край	Явор
4247	Краснодарский край	Хавр
4252	Краснодарский край	Тимур
4281	Дагестан	ПРАГ 612
4289	Белоруссия	Гелио
4290	Белоруссия	Браво
4291	Белоруссия	Э 2460
Озимые		
3589	Ростовская обл.	Кентавр
4054	Дагестан	ПРАГ 532 /1
4093	Воронежская обл.	Вято
4114	Новосибирская обл.	Сирс 57
4164	Ленинградская обл.	Белинда
4183	Краснодарский край	Тихон
4208	Липецкая обл.	Норд
4209	Московская обл.	Тимирязевская 155
4223	Ростовская обл.	Арион
4228	Дагестан	ПРАГ 584
4262	Дагестан	ПРАГ 593
4274	Дагестан	ПРАГ 605

(0,780 ÷ 2,500 мкм) с разрешением 16 $см^{-1}$ в соответствии с руководством для Фурье-спектрометра MATRIX-I фирмы Bruker Optik GmbH (Германия) (рис. 1).

Спектры для каждого образца регистрировались в трех повторностях с пересыпанием зерна образца в кювете диаметром 51 мм (навеска около 30 г). В результате получены 96 спектров, из них 60 для яровых и 36 для озимых форм тритикале. Необходимо отметить, что в процессе разработки моделей для повышения коэффициента детерминации из таблицы спектров была удалена часть зарегистрированных спектров: цветность – 1, зольность – 5, влажность – 9, крахмал – 6, амилоза – 29 и клетчатка – 6. С использованием полученных спектров методом векторной нормализации в зерне тритикале были построены калибровочные модели по определению цветности, зольности, влажности, содержания белка, крахмала, амилозы, клетчатки. Получение спектральных характеристик, обработка биохимических данных, построение моделей калибровочных кривых осуществлялись с помощью программного обеспечения OPUS Software и пакета программ Microsoft Office 2016. Работа спектрометра контролировалась программным обеспечением (ПО) OPUS™, версии 6.5 и 7.0. Также в состав ПО входит приложение OPUS Validation Program (OVP) – прикладная программа, обеспечивающая автоматическую проверку спектрометра, выполняя Тест Качества Работы (PQ) и Тест Качества Функционирования (OQ).

Результаты и их обсуждение

Значения основных показателей хозяйственной ценности влияют на направление использования отдельных образцов тритикале. Для разработки калибровочных моделей необходимо установить зависимость содержания каждого из показателей хозяйственной ценности от характеристик спектров соответствующих образцов зерна тритикале с помощью программного обеспечения OPUS.

Исследования показали, что объединение всех образцов в одну калибровочную модель позволяет повысить устойчивость такой модели за счет максимально широкого диапазона изменчивости признака содержания исследуемого показателя в зерне. Диапазон изменчивости показателя цветности в зерне тритикале составил от 80,7 до 83,5%; зольности – от 1,55 до 2,24%; влажности – от 9,0 до 10,5%; белка – от 10,1 до 16,9%; амилозы – от 11,08 до 18,07%; крахмала – от 55,45 до 64,15%; клетчатки – от 1,3 до 2,8%. При этом диапазон изменчивости по данным показателям составил для озимого тритикале 80,7–83,2 (цветность), 1,63–2,24 (зольность), 9,0–10,0 (влажность), 10,6–16,9 (белок), 11,08–18,07 (амилоза), 55,45–63,63 (крахмал). 1,3–2,8 (клетчатка); для ярового – 81,5–83,5 (цветность); 1,55–2,05 (зольность); 9,0–10,5 (влажность); 10,1–14,3 (белок); 11,53–17,84 (амилоза); 56,83–64,15 (крахмал); 1,8–2,8 (клетчатка).

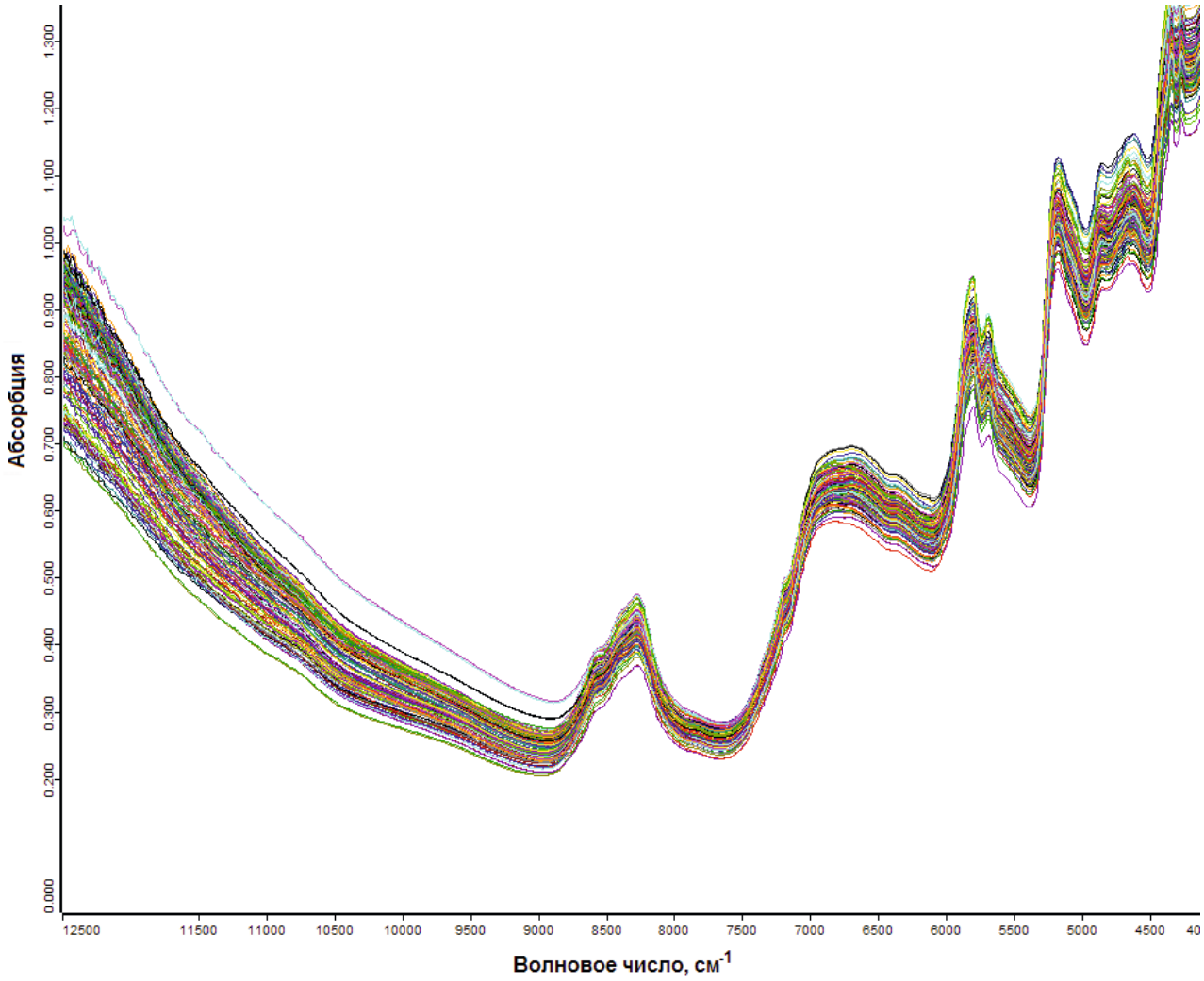


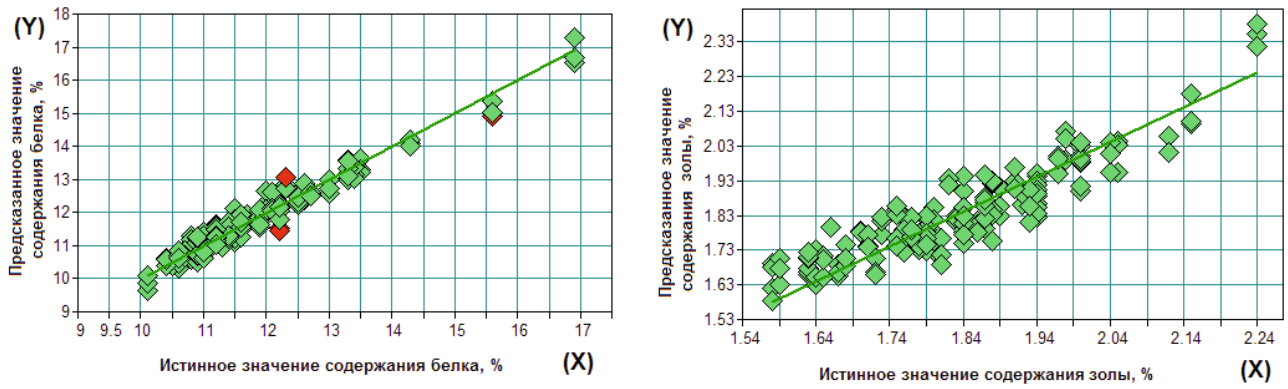
Рис. 1. ИК-спектры образцов зерна озимых и яровых форм тритикале

Fig. 1. IR spectra of winter and spring triticale grain samples

На рисунке 2 представлены калибровочные модели для определения содержания белка (**A**) и зольности (**B**) в образцах зерна тритикале.

Почти все прогнозируемые значения трех повторностей располагаются на линии калибровочной кривой. Показатели зольности проявляют небольшую дисперсию по сравнению с содержанием белка. Модели, полученные для белка и зольности, имели достаточно высокий коэффициент детерминации (81,81 и 96,63) при 8-м и 7-м рангах многомерного анализа соответственно. Среднеквадратичная ошибка прогнозирования (RMSECV) для вышеописанных показателей составила 0,067 и 0,257%. Таким образом, полученные калибровочные модели обеспечивают надежную повторяемость результатов. Значения остаточного отклонения прогноза (RPD) составляли 2,35 для белка и 2,22 для зольности, что соответствует «удовлетворительному качеству» построенных калибровочных моделей (Efimenko et al., 2015; Efimenko et al., 2016; Efimenko S.G., Efimenko S.K., 2019, 2022). Разница между истинным значением параметра, полученным с помощью рутинного биохимического анализа, и ожидаемым, то есть показатель смещения, или статистической предвзятости (BIAS), равнялась 0,0728 и 0,0557 для значений белка и зольности соответственно, что подтверждает практически полное их совпадение.

ние свидетельствует о полном несоответствии значений ожидаемых, полученных с помощью калибровочной модели, и истинных и, соответственно, о невозможности на данном этапе использовать такую калибровку для анализа. Модели для цветности (**A**), крахмала (**B**), амилозы (**C**) имели средние значения коэффициента детерминации (R^2): 51,32; 58,11 и 48,2 при 5-м, 4-м и 2-м рангах в многофакторном анализе соответственно; модели для влажности (**D**) и клетчатки (**E**) – очень низкие значения R^2 – 3,753 и 9,442 при 1-м ранге. RMSECV (%) составила 0,404 для цветности, 0,267 для влажности, 1,14 для крахмала, 1,29 для амилозы и 0,235 для клетчатки, что означает высокую вероятность совпадения предсказанных значений с истинными. Для калибровочных моделей цветности, влажности, содержания крахмала, амилозы и клетчатки RPD равнялся 1,43; 1,02; 1,55; 1,39; и 0,96, а BIAS – 0,00947; 0,00079; –0,04760; 0,01110 и 0,00070 соответственно. Согласно вышеуказанным показателям данные калибровочной модели не являются «устойчивыми» и в настоящий момент не могут быть использованы для экспресс-оценки зерна тритикале. Однако характер расположения значений в калибровочных моделях, полученных для цветности, крахмала и амилозы, является перспективным для последующей доработки при помощи результатов, полученных для образцов зерна тритикале



A **B**

Рис. 2. График предсказанных значений содержания белка (A) и зольности (B) (ось Y) по сравнению с истинными значениями (ось X) согласно калибровочным моделям «Тритикале. Белок» (A) и «Тритикале. Зольность» (B).
При построении калибровочных кривых зеленым отмечены учтенные, красным – неучтенные значения для образцов зерна тритикале

Fig. 2. Graphs showing predicted values of protein content (A) and ash content (B) (Y axis) compared with the true values (X Axis) according to the calibration models "Triticale. Protein" (A) and "Triticale. Ash content" (B).
Green color indicates the values taken into account, and red color indicates the values not taken into account for triticale grain samples when constructing the calibration curve

На рисунке 3 представлены калибровочные кривые для определения цветности (**A**), содержания крахмала (**B**), амилозы (**C**), влажности (**D**), клетчатки (**E**) в образцах зерна тритикале.

Предсказанные значения трех повторностей для цветности (**A**), крахмала (**B**), амилозы (**C**) имели значительную дисперсию и четко выраженную тенденцию расположения вдоль калибровочной линии. Величины содержания влажности (**D**) и клетчатки (**E**), независимо от степени дисперсии, располагались практически параллельно оси (X), соответствующей истинным значениям показателей, то есть полученным рутинными методами химического анализа. Подобное расположение других лет и мест репродукции (Efimenko et al., 2015; Efimenko et al., 2016; Efimenko S.G., Efimenko S.K., 2019, 2022).

Для проверки достоверности значений белка и зольности, полученных с помощью ИК-моделей, была проведена оценка данных химического анализа и ИК-спектроскопии на контрольной выборке образцов зерна озимых и яровых форм тритикале (табл. 2). В контрольную выборку вошло 20 образцов: 12 ярового и 8 озимого тритикале.

Расхождение $\Delta\overline{X}$ между показаниями ИК-анализатора и значениями, определенными стандартными (химическими) методами, рассчитывали по формуле:

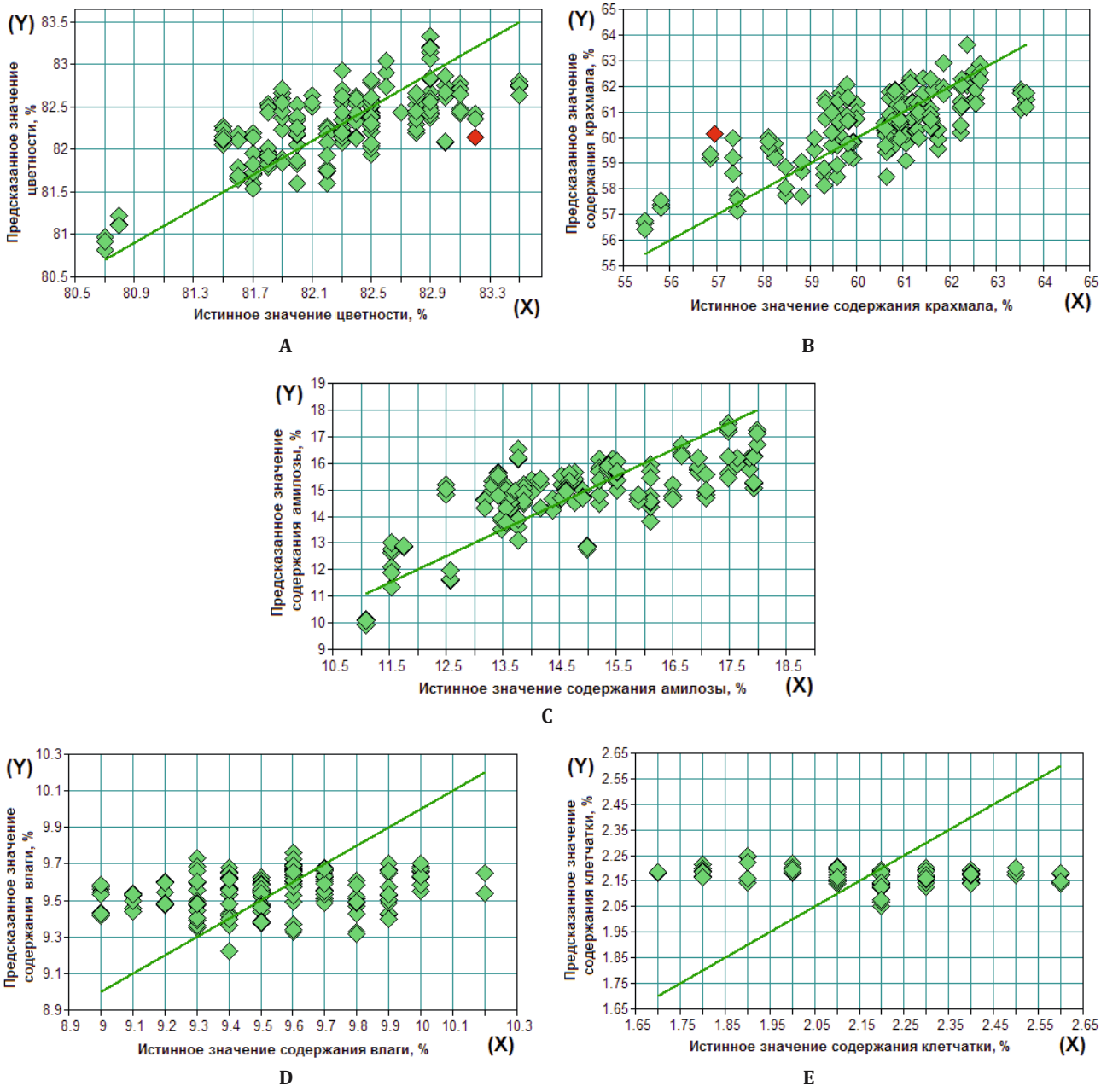


Рис. 3. График предсказанных значений цветности (A), содержания крахмала (B), амилозы (C), влажности (D), клетчатки (E) (ось Y) по сравнению с истинными значениями (ось X) согласно калибровочным моделям «Тритикале. Цветность» (A), «Тритикале. Крахмал» (B), «Тритикале. Амилоза» (C), «Тритикале. Влажность» (D), «Тритикале. Клетчатка» (E).

При построении калибровочных кривых зеленым отмечены учтенные, красным – неучтенные значения для образцов зерна тритикале

Fig. 3. Graphs showing predicted values of coloration (A), starch content (B), amylose content (C), moisture (D), and fiber content (E) (Y axis) compared with the true values (X axis) according to the calibration models "Triticale. Coloration" (A), "Triticale. Starch" (B), "Triticale. Amylose" (C), "Triticale. Moisture" (D), and "Triticale. Fiber" (E).

Green color indicates the values taken into account, and red color indicates the values not taken into account for triticale grain samples when constructing the calibration curve

$$\Delta\overline{X} = \frac{\Sigma|Хик - Ххим|}{n}$$

где $X_{ик}$ – значение показателя, полученное методом ИК-спектроскопии;

$X_{хим}$ – значение показателя, полученное химическим методом;

n – количество образцов, использованных для проверки калибровки (20).

Значение $\Delta\overline{X}$ не превышает погрешности химического метода (для белка – 0,39, для зольности – 0,13) (GOST 32749-2014..., 2019).

Относительная разница между химическими методами анализа зерна и физическим методом, основанным на ИК-спектроскопии, не превышает 5%. В результате нами установлено, что разница между значениями не превышала единицы, что укладывается в рамки технической погрешности прибора Matrix-I.

Таблица 2. Проверка ИК-калибровочных моделей для определения содержания белка и зольности в образцах зерна яровой и озимой форм тритикале из коллекции ВИР

Table 2. Verification of the IR calibration models for measuring protein and ash content in spring and winter triticale grain samples from the VIR collection

Признак	*N*	$X_1 \pm Se$	$X_2 \pm Se$	*Разница*
белок	20	14,41±0,58	14,02±1,64	0,39
зольность	20	1,78±0,10	1,91±0,12	0,13

Примечание: X_1 – средняя значений, полученных с помощью методов биохимического анализа; X_2 – средняя значений, полученных с помощью модельных калибровочных кривых; *Se* – стандартное отклонение

Note: X_1 is the mean of the values obtained with biochemical methods; X_2 is the mean of the values obtained with the model calibration curves; *Se* is the standard deviation

Заключение

Экспресс-анализаторы (на основе БИК-технологии) используются на производственных площадках, а также на площадках контроля качества для экспресс-анализа входящего сырья или оценки параметров готовой продукции. Разработанные в программе OPUS LAB калибровочные модели для определения содержания белка и зольности в зерне озимых и яровых форм тритикале подходят для рутинного экспресс-анализа. Это позволит оперативно проводить предварительную оценку селекционного материала одновременно по двум показателям примерно в 100 образцах зерна данной культуры за рабочую смену. При этом данный метод не требует специальной пробоподготовки, дорогих реагентов, посуды и очень прост в обслуживании.

References / Литература:

Abd Manaf F.Y., Chung A.Y.K. Automatic crude oil dilution control with premium oil segregation using near infrared (NIR) on-line system. *Journal of Oil Palm Research*. 2018;30(2):306-314. DOI: 10.21894/jopr.2018.0012

Batasheva B.A., Abdullaev R.A. Barley yield under irrigated agriculture condition in Southern Dagestan (Urozhaynost yachmenya v usloviyakh oroshayemogo zemledeliya Yuzhnogo Dagestana). *Problemy razvitiya APK regiona = Problems of Development of the Regional Agro-Industrial Complex*. 2012;11(3):9-13. [in Russian] (Баташева Б.А., Абдуллаев Р.А. Урожайность ячменя в условиях орошаемого земледелия Южного Дагестана. *Проблемы развития АПК региона*. 2012;11(3):9-13).

Chikida N.N., Okhotnikova T.V., Bekish L.P., Upelniek V.P., Gradskov S.M., Zavgorodny S.V. et al. Characterization of various triticale genomes according to their physicochemical and baking qualities (Kharakteristika raznogenomnykh tritikale po fizikobiokhimicheskim i khlebopekarnym kachestvam). *Zdorovye – osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ikh resheniya = Health – the Base of Human Potential: Problems and Ways to Solve Them.* 2015;10(2):1032-1042. [in Russian] (Чикида Н.Н., Охотникова Т.В., Бекиш Л.П., Упелниек В.П., Градсков С.М., Завгородний С.В. и др. Характеристика разногеномных тритикале по физикобиохимическим и хлебопекарным качествам. *Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения*. 2015;10(2):1032-1042).

Efimenko S.G., Efimenko S.K. Determination of oil and moisture contents in mustard seeds using IR spectrometry. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2019;4(180):36-44. [in Russian] (Ефименко С.Г., Ефименко С.К. Определение содержания масла и влаги в семенах горчицы с помощью ИК-спектрометрии. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2019;4(180):36-44). DOI: 10.25230/2412-608X-2019-4-180-36-44

Efimenko S.G., Efimenko S.K. Express-estimation of oil content and the main fatty acid contents in oil of turnip rape seeds using IR-spectrometry. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2022;1(189):34-44. [in Russian] (Ефименко С.Г., Ефименко С.К. Экспресс-оценка массовой доли масла и содержания основных жирных кислот масла в семенах сурепицы с помощью ИК-спектрометрии. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2022;1(189):34-44). DOI: 10.25230/2412-608X-2022-1-189-34-44

Efimenko S.G., Efimenko S.K., Kucherenko L.A., Nagalevskaya Ya.A. Quick-assay of the content of the main fatty acids in oil of rapeseed seeds by means of IR-spectrometry. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2015;4(164):35-40. [in Russian] (Ефименко С.Г., Ефименко С.К., Кучеренко Л.А., Нагалевская Я.А. Экспресс-оценка содержания основных жирных кислот в масле семян рапса с помощью ИК-спектрометрии. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2015;4(164):35-40).

Efimenko S.G., Kucherenko L.A., Efimenko S.K., Nagalevskaya Ya.A. Evaluation of the general qualitative traits of soybean seeds using IR-spectrometry. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2016;3(167):33-38. [in Russian] (Ефименко С.Г., Кучеренко Л.А., Ефименко С.К., Нагалевская Я.А. Оценка основных показателей качества семян сои с помощью ИК-спектрометрии. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2016;3(167):33-38).

Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P., Peruanskiy Yu.V., Lukovnikova G.A., Ikonnikova M.I. Methods of biochemical research in plants (Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy). A.I. Ermakov (ed.). 3rd ed. Leningrad: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.В., Луковникова Г.А., Иконникова М.И. Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. 3-е изд. Ленинград: Агропромиздат; 1987).

GOST 10967-2019. Interstate standard. Grain. Methods for determination of odour and colour. Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ 10967-2019. Межгосударственный стандарт. Зерно. Методы определения запаха и цвета. Москва: Стандартинформ; 2019). URL: https://docs.cntd.ru/document/1200166587 [дата обращения: 14.03.2024].

GOST 32749-2014. Interstate standard. Oilseeds, oilcakes and oilmeals. Determination of moisture, oil, protein and fiber by Near-Infrared Reflectance. Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ 32749-2014. Межгосударственный стандарт. Семена масличные, жмыхи и шроты. Определение влаги, жира, протеина и клетчатки методом спектроскопии в ближней инфракрасной области. Москва: Стандартинформ; 2019). URL: https://docs.cntd.ru/document/1200111470 [дата обращения: 14.03.2024].

Grabovets A.I., Krokhmal A.V. Triticale: monograph (Tritikale: monografiya). Rostov-on-Don: Yug; 2019. [in Russian] (Грабовец А.И., Крохмаль А.В. Тритикале: монография. Ростов-на-Дону: Юг; 2019).

Gruzdev L.G., Zhebrak E.A., Novikov N.V. Fractional amino acid composition and biological value of triticale grain proteins in the process of its formation (Fraktsionny aminokislotny sostav i biologicheskaya tsennost belkov zerna tritikale v protsesse yego formirovaniya). *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 1976;(2):98-109. [in Russian] (Груздев Л.Г., Жебрак Э.А., Новиков Н.В. Фракционный аминокислотный состав и биологическая ценность белков зерна тритикале в процессе его формирования. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 1976;(2):98-109).

Heise H.M. Donald A. Burns, Emil W. Ciurczak (Eds.): Handbook of near-infrared analysis, 3rd ed. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2009;393:1387-1389. DOI: 10.1007/s00216-008-2580-0

Kazakov E.D. Biochemistry of grain and its processed products (Biokhimiya zerna i produktov yego pererabotki). Moscow: Kolos; 1980. [in Russian] (Казаков Е.Д. Биохимия зерна и продуктов его переработки. Москва: Колос; 1980).

Khoreva V.I., Popov V.S., Kon'kova N.G. Application of the IR spectrometry method in the screening study of various oat species. *Ecological genetics*. 2022;20(4):349-357. DOI: 10.17816/ecogen108503

Kondratenko Ye.P., Konstantinova O.B., Soboleva O.M., Izhmulkina Ye.A. Carbohydrate and fat accumulation in the grain of winter crops depending on varietal features. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2015;8(130):27-34. [in Russian] (Кондратенко Е.П., Константинова О.Б., Соболева О.М., Ижмулкина Е.А. Накопление углеводов и жира в зерне озимых культур в зависимости от сортовых особенностей. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2015;8(130):27-34).

Kurkiev U.K. Actual problems of triticale breeding and creation of new initial material. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2000;158:44-58. [in Russian] (Куркиев У.К. Актуальные проблемы селекции тритикале и создание нового исходного материала. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2000;158:44-58).

Merezhko A.F., Udachin R.A., Zuev E.V., Filatenko A.A. Serbin A.A., Lyapunova O.A., Kosov V.Yu., Kurkiev U.K., Okhotnikova T.V., Navruzbekov N.A., Boguslavskiy R.L., Abdulaeva A.K., Chikida N.N., Mitrofanova O.P., Potokina S.A. Replenishment, preservation in living form and study of the world collection of wheat, Aegilops and triticale: guidelines (Popolneniye, sokhraneniye v zhivom vide i izucheniye mirovoy kollektsii pshenitsy, egilopsa i tritikale: metodicheskiye ukazaniya). A.F. Merezhko (ed.). St. Petersburg: VIR; 1999. [in Russian] (Мережко А.Ф., Удачин Р.А., Зуев Е.В., Филатенко А.А., Сербин А.А., Ляпунова О.А., Косов В.Ю., Куркиев У.К., Охотникова Т.В., Навруzбеков Н.А., Богуславский Р.Л., Абдулаева А.К., Чикида Н.Н., Митрофанова О.П., Потокина С.А. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале: методические указания / под ред. А.Ф. Мережко. Санкт-Петербург: ВИР; 1999).

Информация об авторах

Виталий Сергеевич Попов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, v.popov@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0003-3274-7662

Нина Григорьевна Конькова, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, n.konkova@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-4920-3904

Татьяна Васильевна Шеленга, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, tatianashelenga@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-3992-5353

Валентина Ивановна Хорева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, horeva43@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2762-2777

Илья Анатольевич Кибкало, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, i.kibkalo@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-8870-121X

Мина Ханмирзаевна Гаджимагомедова, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дагестанская опытная станция – филиал ВИР, 368612 Россия, Республика Дагестан, Дербентский район, с. Вавилово, mina.khanmirzayevna@bk.ru, https://orcid.org/0009-0000-7218-3473

Люсине Гагиковна Суварян, аспирант, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, старший научный сотрудник, заместитель директора, ЗАО «Гюмрийская селекционная станция» при Министерстве экономики Республики Армении, 3103 Армения, Ширакская область, община Ахурян, suvaryanl@mail.ru, https://orcid.org/0009-0005-3581-1342

Information about the authors

Vitaliy S. Popov, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, v.popov@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0003-3274-7662

Nina G. Konkova, Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, n.konkova@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-4920-3904

Tatiana V. Shelenga, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, tatianashelenga@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-3992-5353

Valentina I. Khoreva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, horeva43@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2762-2777

Ilya A. Kibkalo, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, i.kibkalo@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-8870-121X

Mina Kh. Gadjimagomedova, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Dagestan Experiment Station – branch of VIR, Derbent 368612, Russia, mina.khanmirzayevna@bk.ru, https://orcid.org/0009-0000-7218-3473

Lusine G. Suvaryan, Postgraduate Student, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, Senior Researcher, Deputy Director, "Gyumri Breeding Station" CJSC of the Ministry of Economy of the Republic of Armenia, Akhuryan Community, Shirak Marz 3103, Armenia, suvaryanl@mail.ru, https://orcid.org/0009-0005-3581-1342

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 22.04.2024; одобрена после рецензирования 19.06.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 22.04.2024; approved after reviewing on 19.06.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 632.112:633.854.78
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-71-77

CC BY

Активность фотосинтетических пигментов и антиоксидантной системы у подсолнечника в условиях стресса от засухи

Д. Г. Федорова, Н. М. Назарова, Б. С. Укенов

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Дарья Геннадьевна Федорова, DaryaOrlova24@rambler.ru

Актуальность. Исследование имеет особое значение ввиду усиливающихся темпов мировой аридизации климата. Статья посвящена результатам эксперимента по влиянию засухи на физиологический статус проростков сорта 'Посейдон 625' важной продовольственной культуры – подсолнечника (*Helianthus annuus* L.).
Материалы и методы. Эксперимент включал группу контрольных образцов, выращенных при достаточном увлажнении, и четыре импактных группы, подвергавшихся осмотическому стрессу. Интенсивность накопления продуктов перикисного окисления липидов (ПОЛ) определяли по реакции малонового диальдегида (МДА) с тиобарбетуровой кислотой; активность каталазы – фотоколориметрическим методом, основанном на взаимодействии перекиси водорода с йодистым калием; содержание пигментов (Хл *a*, Хл *b*, Кар) – спектрофотометрически в ацетоновом экстракте.
Результаты. Выяснено, что у импактных групп опыта степень накопления ПОЛ многократно превышает значения контрольных, что подтверждается быстрым нарастанием концентрации МДА в ответ на усиливающийся дефицит воды. Накопление свободных радикалов кислорода запускает механизмы антиоксидантной защиты проростков путем синтеза каталазы, концентрация которой нарастает пропорционально накоплению ПОЛ. Одновременно быстрое накопление ПОЛ в условиях отсутствия полива и осмотического стресса 3 и 5 атм приводит к супрессии низкомолекулярных компонентов защиты – каротиноидов и активации их синтеза только при достижении критических значений осмотического стресса.
Заключение. В результате проведенного эксперимента установлено, что каталаза является основным компонентом антиоксидантной защиты у проростков подсолнечника. За счет активации ее синтеза происходит снижение концентраций Хл *a* и Хл *b*, что является свидетельством как активации механизмов защиты фотосинтетической активности проростков, так и их антиоксидантного статуса.

Ключевые слова: *Helianthus annuus* L., проростки, хлорофилл, каротиноиды, каталаза, малоновый диальдегид

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10060 (https://rscf.ru/project/23-76-10060/).
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Федорова Д.Г., Назарова Н.М., Укенов Б.С. Активность фотосинтетических пигментов и антиоксидантной системы у подсолнечника в условиях стресса от засухи. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):71-77. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-71-77

© Федорова Д.Г., Назарова Н.М., Укенов Б.С., 2024

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-71-77

Activity of photosynthetic pigments and the antioxidant system in sunflower under drought stress

Darya G. Fedorova, Natalia M. Nazarova, Bulat S. Ukenov

Orenburg State University, Orenburg, Russia

Corresponding author: Daria G. Fedorova, DaryaOrlova24@rambler.ru

Background. The study is of particular importance in view of the increasing pace of global climate aridization. The article highlights the results of an experiment on the effect of drought on the physiological status of seedlings of cv. 'Poseidon 625' representing an important food crop – sunflower (*Helianthus annuus* L.).
Materials and methods. The experiment included a group of control samples grown with sufficient moisture and four impact groups subjected to osmotic stress. The intensity of accumulation of lipid peroxidation products (LPP) was measured by the reaction of malondialdehyde (MDA) with thiobarbeturic acid; catalase activity was assessed by a photocolorimetric method based on the interaction between hydrogen peroxide and potassium iodide; the content of pigments (Chl *a*, Chl *b*, Car) was calculated spectrophotometrically in acetone extract.
Results. The degree of POL accumulation in the impact groups of the experiment was found to be many times higher than the values in the control samples, which was confirmed by a rapid increase in the MDA concentration in response to a growing water shortage. The accumulation of oxygen free radicals triggered the mechanisms of antioxidant protection of seedlings by synthesizing catalase, the concentration of which increased proportionally to the accumulation of POL. At the same time, the rapid accumulation of POL in the absence of irrigation and under osmotic stress of 3 and 5 atm led to a suppression of low-molecular-weight components of protection (carotenoids) and activation of their synthesis only when critical values of osmotic stress were reached.
Conclusion. As a result of the experiment, catalase was identified as the main component of antioxidant protection in sunflower seedlings. Due to the activation of its synthesis, the concentrations of Chl *a* and Chl *b* decreased, attesting to the activation of the mechanisms protecting the photosynthetic activity in seedlings, and their antioxidant status.

Keywords: *Helianthus annuus* L., seedlings, chlorophyll, carotenoids, catalase, malondialdehyde

Acknowledgements: the research was financially supported by a grant from the Russian Science Foundation, No. 23-76-10060 (https://rscf.ru/project/23-76-10060/).
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Fedorova D.G., Nazarova N.M., Ukenov B.S. Activity of photosynthetic pigments and the antioxidant system in sunflower under drought stress. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):71-77. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-71-77

Введение

В период роста и развития растения могут сталкиваться со многими неблагоприятными условиями и противостоять им с помощью различных биохимических, физиологических и молекулярных механизмов, которые развиваются путем приобретения толерантности по широкому спектру признаков (Batra et al., 2020).

Засуха – это абиотический фактор стресса, который отрицательно влияет на рост и развитие растений, проявляясь на уровне клеток и всего организма. Более того, засуха считается решающей в снижении продуктивности растений по сравнению со всеми другими факторами окружающей среды (Carvalho et al., 2019; Mahmood et al., 2020; Kapoor et al., 2020).

Снижение водного потенциала и тургора клеток, фотосинтеза, транспирации, усвоения питательных веществ и многочисленных метаболических процессов является распространенным последствием воздействия засухи на рост и развитие растений (Đurić et al., 2020). Пониженное содержание фотосинтетических пигментов во время засухи ограничивает фотосинтез и, безусловно, представляет интерес практически для всех исследований по этой теме (Batra et al., 2014; Tyutereva, 2017; Sharma et al., 2020). Содержание хлорофилла в растениях может увеличиваться или уменьшаться в условиях засушливого стресса (Nikolaeva et al., 2010; Chen et al., 2019; Chowdhury et al., 2021), и степень его изменения тесно связана с засухоустойчивостью растительного организма (Saha et al., 2020; Xie et al., 2021; Wasaya et al., 2021).

Индуцируемая засухой продукция активных форм кислорода (АФК) играет важную роль в окислении белков, мембранных липидов, ДНК и РНК. Дисбаланс между выработкой и удалением АФК как следствие окислительного стресса вызван большим количеством первичных факторов стресса, таких как засуха. Активные формы кислорода включают перекись водорода (H_2O_2), супероксидные анионные радикалы (O^{2-}), гидроксильные радикалы (OH•), синглетный кислород ($^1O_2$) и оксид азота (NO) (Demidchik, 2015; Mahmood et al., 2020). Из всего перечисленного гидроксильный радикал является наиболее реакционноспособным и образуется в результате реакции Хабера – Вайса из O^{2-} и H_2O_2, а также реакции Фентона из H_2O_2 в присутствии двухвалентного железа (Demidchik, 2015). Поскольку нет ферментативной реакции, которая могла бы устранить этот радикал, содержание O^{2-} и H_2O_2 в клетках должно строго контролироваться активностью антиоксидантной системы защиты. Одним из наиболее изученных эффектов АФК на структуру и функцию клеток является перекисное окисление мембранных липидов. Малоновый диальдегид (МДА), один из конечных продуктов перекисного окисления липидов, рассматривается как индикатор окислительного стресса в клетках, и его содержание отражает степень повреждения липидов мембран (Demidchik, 2015). Помимо токсичности, АФК являются важными сигнальными молекулами, которые участвуют в реакциях растений на абиотические стрессы (Miller et al., 2010).

Цель работы – исследование фотосинтетического и антиоксидантного статуса проростков подсолнечника при моделировании условий физиологической засухи.

Материалы и методы

Объектом исследования являлся сорт *Helianthus annuus* L. 'Посейдон 625'.

Проращивание семян подсолнечника проводили в климатической камере JIUPO BPC500. Контрольные образцы выращивали при 10-часовом фотопериоде, температуре 23°C и влажности 60%. Модельный эксперимент по созданию условий физиологической засухи осмотическим раствором сахарозы проведен согласно методике, рекомендованной ВИР (Udovenko, 1988). Осмотическое давление для каждой концентрации рассчитывали по формуле: $P_{осм} = I \times C_M \times R \times T$ (кПа), где I – постоянная Вант – Гоффа (принята за 1); C_M – молярная концентрация определяемого раствора, моль/л; R – универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/моль); T – температура (K), с последующим переводом в единицу измерения давления в атмосферах.

Моделирование засухи осуществляли в условиях климатической камеры путем прекращения полива 5-суточных проростков, снижения влажности до 15% и добавления растворов сахарозы по вариантам опыта.

Вариант 1. Засуха путем прекращения полива 5-суточных проростков и снижения влажности в камере до 15%.

Вариант 2. Условия 1-го варианта + добавление раствора сахарозы концентрацией 4,4% (осмотический стресс 3 атм).

Вариант 3. Условия 1-го варианта + добавление раствора сахарозы 7,4% (осмотический стресс 5 атм).

Вариант 4. Условия 1-го варианта + добавление раствора сахарозы 10,5% (осмотический стресс 8 атм). Схема эксперимента отражена на рисунке 1.

Добавление сахарозы позволило путем увеличения осмотического напряжения смоделировать усиление засухи и оценить динамику исследуемых параметров при нарастании стресс-фактора.

Выделение и расчет содержания пигментов осуществляли на ацетоновых экстрактах биоматериала по стандартной методике (Shlyk, 1968), каталазы – по мето-



Рис. 1. Схема эксперимента

Fig. 1. The scheme of the experiment

ду A. C. Maehly и B. Chance (1954), МДА – согласно методу R. Heath и L. Packer (1968), используя биомассу 8-суточных проростков подсолнечника. Измерения проводили на фотометре КФК 3-01 (ЗОМЗ) при определенной длине волны: для хлорофилла *a* (Хл *a*) – 662 нм, хлорофилла *b* (Хл *b*) – 644 нм, каротиноидов (Кар) – 440,5 нм, каталазы (Кат) – 440 нм, малонового диальдегида (МДА) – 532 нм.

Лабораторные опыты проводили в трехкратной биологической повторности, аналитическое определение для каждой пробы – в трех повторностях.

Статистическая обработка полученных результатов произведена с использованием программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 10.0. В статье приведены среднеарифметические величины и стандартные ошибки каждой из повторностей, а также коэффициенты вариации полученных данных. Достоверность различий оценена с помощью t-критерия Стьюдента при уровне значимости p = 0,05; корреляционная зависимость – по формуле Пирсона (нормальность распределения оценивали по критерию Шапиро – Уилка).

Результаты и обсуждение

Реакция проростков подсолнечника на стресс от засухи проявилась в изменении процессов их окислительно-восстановительного метаболизма.

По сравнению с 85-процентной всхожестью, регистрировавшейся в контроле, по вариантам опыта 1 → 4 она снижалась пропорционально в пределах от 65% до 50% при нарастании осмотического стресса.

Прежде чем анализировать содержание пигментов в образцах, определяли индикаторные показатели окислительного стресса растительного организма – содержание каталазы и малонового диальдегида (МДА), концентрации которых изменяются пропорционально интенсивности накопления продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ), активных форм кислорода (АФК).

Содержание МДА в биомассе проростков свидетельствует о степени поражения мембранных липидов в результате их перекисного окисления активными формами кислорода. Уровень его содержания в эксперименте увеличивался пропорционально повышению степени воздействия стресса. Минимальный показатель отмечен в контроле, максимальный, соответственно, при внесении наибольшей концентрации сахарозы в варианте 4. Отсутствие полива (без осмотического стресса) уже вызывает увеличение концентрации МДА в 2,5 раза по сравнению с контролем (табл. 1).

Введение растворов-осмотиков различной концентрации позволило проследить скорость накопления продуктов перекисного окисления липидов в условиях отсутствия полива и нарастающего дефицита воды. Концентрации раствора сахарозы 4,4% и 10,6% провоцируют увеличение содержания МДА, превышающее значение данного показателя в отсутствии полива в полтора и 2,3 раза соответственно (см. табл. 1).

Стресс от засухи влияет и на активность ферментативных антиоксидантов. Каталаза, как маркерный антиоксидантный фермент, обеспечивает снижение токсического эффекта АФК, способствуя стабилизации метаболических процессов растительного организма. Ввиду нарастания концентрации продуктов перекисного окисления липидов в клетках подсолнечника под действием осмотического стресса происходит пропорциональное увеличение синтеза каталазы. Соответственно, активность каталазы минимальна у контрольных образцов, а в экспериментальных вариантах происходит заметное ее увеличение. Высокая изменчивость концентраций фермента по пробам позволяет предположить запуск механизмов адаптации к действию стресс-фактора. Максимальное содержание фермента отмечено в варианте 3 с осмотическим давлением в 5 атм, в 4 раза превышающее показатели контрольных образцов. Однако при увеличении осмотического давления до 8 атм наблюдается резкое снижение концентрации каталазы – в 2 раза по сравнению с предыдущим вариантом опыта. При этом вариативность концентраций по пробам становится минимальной. Ингибирование образования каталазы при максимальном осмотическом стрессе в опыте указывает на нарушение защитной системы проростков, то есть достижение порогового значения засухоустойчивости (см. табл. 1).

Таким образом очевидно, что на фоне нарастания напряжения от засухи (подтверждается быстрым нарастанием концентрации МДА) происходит достоверное снижение всхожести ($r = 0,83$ при $p < 0,05$). При этом активируется антиоксидантная защита за счет усиливающегося синтеза высокомолекулярного фермента – каталазы, концентрация которой нарастает пропорционально накоплению ПОЛ.

Моделируемый стресс также повлиял на фотосинтез проростков подсолнечника, на что указывает значительное снижение содержания хлорофилла. Фотосинтез считается важным метаболическим процессом, на который, как известно, влияют различные стрессы, включая засуху. При значительном снижении содержания хлорофилла при практически полном отсутствии фитодоступности воды общий процесс фотосинтеза существенно затруднен, что приводит к снижению биомассы и угнетению роста (Gagarinsky et al., 2014). Результаты анализа изменения содержания фотосинтетических пигментов представлены на диаграмме (рис. 2).

Таблица 1. Концентрация маркерных показателей стресса в биомассе подсолнечника

Table 1. Concentration of stress markers in sunflower biomass

Опыт	Каталаза		МДА	
	Среднее, ед.	Cv, %	Среднее, ммоль/г	Cv, %
Контроль	15,08 ± 2,0	23,4	0,0021 ± 0,0005	54,0
Вариант 1	27,8 ± 4,6	28,7	0,0055 ± 0,001	20,3
Вариант 2	38,95 ± 8,1	36,2	0,008 ± 0,003	56,3
Вариант 3	60,38 ± 5,0	14,2	0,79 ± 0,02	3,5
Вариант 4	31,41 ± 0,8	4,6	1,78 ± 0,5	51,7

Увеличение осмотического стресса позволило смоделировать условия усиления водного дефицита на фоне отсутствия полива. При этом мы наблюдали постепенное снижение концентрации всех фотосинтетических пигментов при нарастании стресса (см. рис. 2).

Однако в варианте опыта 4, под действием осмотического стресса в 8 атм, раствор-осмотик оказал стимулирующее действие на синтез фотосинтетических пигментов, среди которых в большей степени регистрировали увеличение концентрации Хл *b*. Связано это, вероятнее всего, со вспомогательной функцией данного пигмента. Повышенный синтез Хл *b* указывает на усиление светопоглощения коротковолнового спектра, слабо улавливаемого Хл *a*, и, таким образом, на увеличение фотосинтетической активности при нарастании условий засухи.

Особый интерес представляет анализ соотношения хлорофилла *a* и *b*, так как снижение его значения свидетельствует о нарушении фотосинтетического процесса под воздействием абиотического фактора. Несмотря на то что в последнем варианте, при наибольшей степени стресса, каждый из показателей индивидуально увеличивается, их соотношение при этом пропорционально снижается по вариантам опыта в последовательности: Контроль (0,618 ± 0,04) > Вариант 1 (0,526 ± 0,03) > Вариант 2 (0,523 ± 0,01) > Вариант 3 (0,491 ± 0,02) > Вариант 4 (0,465 ± 0,02).

Каротиноиды – группа вспомогательных растительных пигментов, которые в дополнение к хлорофиллам *a* и *b* защищают фотосистемы от процессов окисления. В 1-м и 2-м вариантах опыта отмечено снижение концентрации каротиноидов по сравнению с образцами, не испытывающими воздействия засухи, с минимумом в варианте опыта с концентрацией раствора сахарозы 4,4%. В варианте опыта с раствором сахарозы 7,4% наблюдается увеличение их содержания, а в концентрации 10,4% оно возвращается к значению контроля (см. рис. 2).

Используя t-тест Стьюдента, проанализировали отличия исследуемых параметров от усредненных показателей контроля. Достоверно установлено различие в показателях соотношения пигментов *a*/*b* (по вариантам: $p_1 = 0{,}002$, $p_2 = 0{,}04$, $p_3 = 0{,}0004$, $p_4 = 0{,}006$). Все пигменты в отдельности наиболее отличны от контроля в варианте 3 (Хл *a* – p = 0,0004, Хл *b* – p = 0,04, Кар – p = 0,02).

Максимальны различия активности каталазы в вариантах 3 и 4 ($p_3 = 0{,}01$, $p_4 = 0{,}003$). МДА статистически значимо отличается от контроля во всех опытных вариантах ($p_1 = 0{,}00001$, $p_2 = 0{,}0001$, $p_3 = 0{,}02$, $p_4 = 0{,}04$).

Проведя анализ взаимозависимости маркеров стресса с содержанием фотосинтетических пигментов у опытных образцов, произрастающих в условиях дефицита увлажнения, выявили прямо пропорциональную зависимость между концентрацией хлорофилла *a* и *b* (r = 0,9) и обратно пропорциональную – между хлорофиллом *a* и *b* и каталазой (r = –0,6, r = –0,7), что доказывает отрицательное влияние анализируемого стресса на пигментную систему (табл. 2).

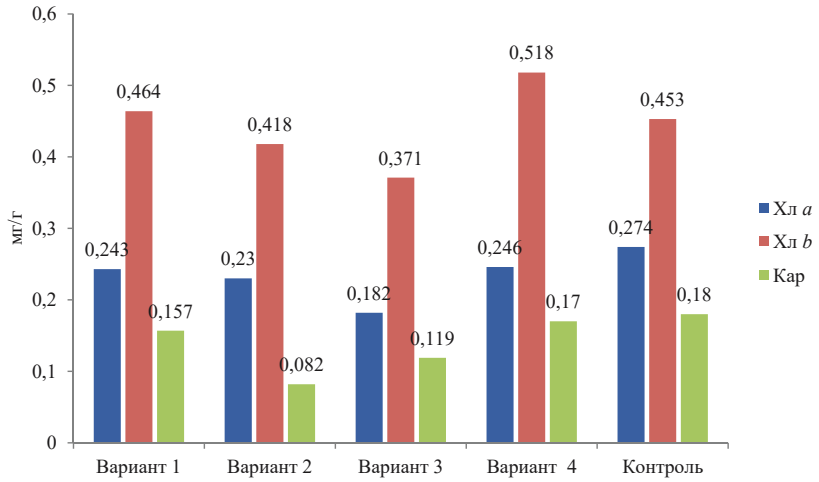


Рис. 2. Содержание пигментов в исследуемых образцах проростков подсолнечника по вариантам опыта

Fig. 2. The content of pigments in the studied samples of sunflower seedlings according to the experiment options

Таблица 2. Корреляционная матрица для анализируемых параметров объектов исследования (проростков подсолнечника) по Пирсону (при p ≤ 0,05)

Table 2. Correlation matrix for the analyzed parameters of the research objects (sunflower seedlings) according to Pearson (at *p* ≤ 0.05)

Параметры	Хлорофилл *a*	Хлорофилл *b*	Каротиноиды	Каталаза	МДА
Хлорофилл *a*	1				
Хлорофилл *b*	0,932	1			
Каротиноиды	0,004	0,071	1		
Каталаза	–0,649	–0,705	–0, 015	1	
МДА	–0,304	0,002	0,086	–0,05	1

Заключение

Результаты модельного эксперимента по оценке влияния засухи на содержание пигментов в листовых пластинках подсолнечника и уровня маркерных показателей стресса – каталазы и МДА – показали следующее.

1. Моделирование условий засухи с использованием раствора-осмотика оказывает негативное воздействие на проростки подсолнечника. Выявлена линейная связь между степенью окислительного повреждения клеток фитомассы подсолнечника и действием стресс-фактора – дефицита увлажнения.

2. У образцов импактных групп по вариантам опыта степень ПОЛ многократно превышает значения контрольных, что подтверждается быстрым нарастанием концентрации МДА в ответ на усиливающийся дефицит воды. В ответ на это происходит активация синтеза и нарастание концентрации высокомолекулярного соединения антиоксидантной системы – каталазы. Однако высокое осмотическое давление (8 атм) оказывается критическим для защитной системы проростков, угнетающим активность каталазы на фоне продолжающегося усиленного накопления ПОЛ.

3. Увеличение концентрации ПОЛ, образовавшихся в ответ на действие стресса, также является медиатором процесса активации жирорастворимых антиоксидантов – каротиноидов. Однако при отсутствии полива и под действием осмотического давления раствора сахарозы в 3 атм отмечена тенденция снижения их концентрации по сравнению с контролем в связи с депрессией фотосинтетической активности под действием стресс-фактора, вследствие чего происходит активное образование и накопление АФК. При достижении критического для проростков подсолнечника накопления свободных радикалов кислорода на фоне еще большего усиления дефицита увлажнения активность каротиноидов резко нарастает.

4. Стресс от недостатка увлажнения нарушает механизм фотосинтетической системы проростков, вызывая снижение содержания фотосинтетических пигментов – хлорофилла *a* и при минимальном воздействии осмотического стресса – хлорофилла *b*. При увеличении концентрации раствора-осмотика до 8 атм в клетках проростков запускается активный синтез хлорофилла *b* для более эффективного использования энергии света и стабилизации фотосинтетической активности подвергающихся все усиливающемуся действию засухи проростков. Соответственно, за счет резкого увеличения концентрации сигнальных молекул хлорофилла *b* отмечается значительный рост концентрации основного фотосинтетического пигмента – хлорофилла *a*.

5. Установлено, что каталаза является основным компонентом антиоксидантной защиты у проростков подсолнечника. За счет активации ее синтеза происходит снижение концентраций хлорофилла *a* и *b*, что является свидетельством активации механизмов фотосинтетической активности проростков, а также их антиоксидантного статуса. Каротиноиды, как защитные элементы, оказываются менее значимыми в процессе поддержания антиоксидантной защиты проростков подсолнечника в условиях стресса от засухи.

References/Литература

Batra N.G., Sharma V., Kumari N. Drought-induced changes in chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and thylakoid membrane proteins of *Vigna radiata*. *Journal of Plant Interactions*. 2014;9(1):712-721. DOI: 10.1080/17429145.2014.905801

Carvalho M., Castro I., Moutinho-Pereira J., Correia C., Egea-Cortines M., Matos M. et al. Evaluating stress responses in cowpea under drought stress. *Journal of Plant Physiology*. 2019;241:153001. DOI: 10.1016/j.jplph.2019.153001

Chen J., Zhao X., Zhang Y., Li Y., Luo Y., Ning Z. et al. Effects of drought and rehydration on the physiological responses of *Artemisia halodendron*. *Water*. 2019;11(4):793. DOI: 10.3390/w11040793

Chowdhury M.K., Hasan M.A., Bahadur M.M., Islam M.R., Hakim M.A., Iqbal M.A. et al. Evaluation of drought tolerance of some wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes through phenology, growth, and physiological Indices. *Agronomy*. 2021;11(9):1792. DOI: 10.3390/agronomy11091792

Demidchik V. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. *Environmental and Experimental Botany*. 2015;109:212-228. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2014.06.021

Deyneka V.I., Shaposhnikov A.A., Deyneka L.A., Guseva T.S., Vostrikova S.M., Shentseva E.A. et al. Carotenoids: the structure, biological functions and perspectives of application. *Challenges in Modern Medicine*. 2008;6-2(46):19-25. [in Russian] (Дейнека В.И., Шапошников А.А., Дейнека Л.А., Гусева Т.С., Вострикова С.М., Шенцева Е.А. и др. Каротиноиды: строение, биологические функции и перспективы применения. *Актуальные проблемы медицины*. 2008;6-2(46):19-25).

Đurić M., Subotić A., Prokić L., Trifunović-Momčilov M., Cingel A., Vujičić M. et al. Morpho-physiological and molecular evaluation of drought and recovery in *Impatiens walleriana* grown *ex vitro*. *Plants*. 2020;9(11):1559. DOI: 10.3390/plants9111559

Gagarinsky E.L., Filimonov V.V., Kasatkin M.Yu. Influence of osmotic stress on wheat seedlings development. *Bulletin of Botanic Garden of Saratov State University*. 2014;(12):162-171. [in Russian] (Гагаринский Е.Л., Филимонов В.В., Касаткин М.Ю. Влияние осмотического стресса на развитие проростков мягкой пшеницы. *Бюллетень Ботанического сада Саратовского государственного университета*. 2014;(12):162-171).

Heath R.L., Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 1968;125(1):189-198. DOI: 10.1016/0003-9861(68)90654-1

Kapoor D., Bhardwaj S., Landi M., Sharma A., Ramakrishnan M., Sharma A. The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences*. 2020;10(16):5692. DOI: 10.3390/app10165692

Maehly A.C., Chance B. The assay of catalases and peroxidases. In: D. Glick (ed.). *Methods of Biochemical Analysis. Vol. 1*. New York: Interscience Publications; 1954. p.358-424. DOI: 10.1002/9780470110171.ch14

Mahmood T., Khalid S., Abdullah M., Ahmed Z., Shah M.K.N., Ghafoor A. et al. Insights into drought stress signaling in plants and the molecular genetic basis of cotton drought tolerance. *Cells*. 2020;9(1):105. DOI: 10.3390/cells9010105

Miller G., Suzuki N., Ciftci-Yilmaz S., Mittler R. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell and Environment*. 2010;33(4):453-467. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x

Nikolaeva M.K., Maevskaya S.N., Shugaev A.G., Bukhov N.G. Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant

enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2010;57(1):87-95. DOI: 10.1134/S1021443710010127

Saha S., Begum H.H.; Nasrin S., Samad R. Effects of drought stress on pigment and protein contents and antioxidant enzyme activities in five varieties of rice (*Oryza sativa* L.). *Bangladesh Journal of Botany*. 2020;49(4):997-1002. DOI: 10.3329/bjb.v49i4.52516

Sharma A., Kumar V., Shahzad B., Ramakrishnan M., Sidhu G.P.S., Bali A.S. et al. Photosynthetic response of plants under different abiotic stresses: a review. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2020;39(2):509-531. DOI: 10.1007/s00344-019-10018-x

Shlyk A.A. On the spectrophotometric determination of chlorophylls *a* and *b* (O spektrofotometricheskom opredelenii khlorofillov *a* i *b*). *Biochemistry (Moscow)*. 1968;33(2):275-285. [in Russian] (Шлык А.А. О спектрофотометрическом определении хлорофиллов *a* и *b*. *Биохимия*. 1968;33(2):275-285).

Tyutereva E.V., Dmitrieva V.A., Voitsekhovskaja O.V. Chlorophyll *b* as a source of signals steering plant development (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(5):843-855. [in Russian] (Тютерева Е.В., Дмитриева В.А., Войцеховская О.В. Хлорофилл *b* как источник сигналов, регулирующих развитие и продуктивность растений (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(5):843-855). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.5.843rus

Udovenko G.V. (ed.) Diagnostics of plant resistance to stress: a methodological guide (Diagnostika ustoychivosti rasteniy k stressovym vozdeystviyam: metodicheskoye rukovodstvo). Leningrad: VIR; 1988. [in Russian] (Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство / под ред. Г.В. Удовенко. Ленинград: ВИР; 1988).

Wasaya A., Manzoor S., Yasir T.A., Sarwar N., Mubeen K., Ismail I.A. et al. Evaluation of fourteen bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes by observing gas exchange parameters, relative water and chlorophyll content, and yield attributes under drought stress. *Sustainability*. 2021;13(9):4799. DOI: 10.3390/su13094799

Xie H., Li M., Chen Y., Zhou Q., Liu W., Liang G. et al. Important physiological changes due to drought stress on oat. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2021;9:644726. DOI: 10.3389/fevo.2021.644726

Информация об авторах

Дарья Геннадьевна Федорова, кандидат биологических наук, директор ботанического сада, Оренбургский государственный университет, 460018 Россия, Оренбург, пр. Победы, 13, DaryaOrlova24@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-5323-4965

Наталья Михайловна Назарова, кандидат биологических наук, руководитель научной группы ботанического сада, Оренбургский государственный университет, 460018 Россия, Оренбург, пр. Победы, 13, Nazarova-1989@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7449-0378

Булат Сирикбаевич Укенов, кандидат биологических наук, доцент, Оренбургский государственный университет, 460018 Россия, Оренбург, пр. Победы, 13, 89198660945@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1407-441X

Information about the authors

Darya G. Fedorova, Cand. Sci. (Biology), Director of the Botanical Garden, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg 460018, Russia, DaryaOrlova24@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-5323-4965

Natalia M. Nazarova, Cand. Sci. (Biology), Head of a Scientific Group of the Botanical Garden, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg 460018, Russia, Nazarova-1989@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7449-0378

Bulat S. Ukenov, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg 460018, Russia, 89198660945@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1407-441X

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.03.2024; одобрена после рецензирования 09.07.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 21.03.2024; approved after reviewing on 09.07.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 631.527.16
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-78-93

CC BY

Оценка коллекционных образцов ярового ячменя белорусской селекции в условиях Северного Зауралья

М. Н. Фомина[1], Ю. С. Иванова[1], М. В. Брагина[1], О. Н. Ковалева[2]

[1] *Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Тюмень, Россия*

[2] *Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия*

Автор, ответственный за переписку: Юлия Семеновна Иванова, averyasova-uliy@mail.ru

Актуальность. Для успешного создания новых сортов, отвечающих требованиям производства, необходим научно обоснованный подбор исходного материала. Важная роль при этом принадлежит генофонду ВИР, на базе которого создается новейший сортимент в научных учреждениях для использования в практической селекции. Изучение коллекционных образцов ячменя в условиях Северного Зауралья позволило оценить их по комплексу и отдельным хозяйственно ценным признакам и выделить новые источники для селекционной практики.
Материалы и методы. Представлены результаты 8-летнего испытания (2016–2023 гг.) 11 коллекционных образцов ярового ячменя белорусского происхождения в зоне северной лесостепи Тюменской области. Провели оценку зерна по технологическим и биохимическим показателям.
Результаты. Большинство изучаемых образцов созревали позднее стандартного среднеспелого сорта ‘Абалак’. В Северном Зауралье решающее влияние на формирование урожая, содержание белка и крахмала в зерне оказывали метеорологические условия в период вегетации (соответственно 74,6%, 70,8% и 81,8%). Влияние генотипа на данные показатели было 7,9%, 17,5% и 6,2% соответственно. Содержание крахмала, кроме того, зависело от взаимодействия «генотип × среда» (9,7%). На содержание жира почти равнозначно влияли генотип (25,1%) и среда (26,7%). Более значимым было взаимодействие «генотип × среда» (31,2%).
Заключение. Выделены источники: ‘Водар’ (высокая урожайность, выносливость к засухе и т. д.); ‘Магутны’ (высокая урожайность, экологическая пластичность); ‘Хаго’ (крупное зерно, низкая пленчатость, повышенное содержание белка и крахмала); ‘Липень’ (высокая натурная масса, повышенное содержание крахмала, экологическая пластичность); ‘Фобос’ (выносливость к засухе, повышенное содержание белка); ‘Дублет’ (устойчивость к полеганию, повышенное содержание белка); ‘Талер’ (пониженное содержание белка, экологическая пластичность); ‘Поспех’ (пониженное содержание белка).

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., сорт, урожайность, период вегетации, качество зерна

Благодарности: работа выполнена в рамках государственных заданий по тематическим планам: Научно-исследовательским институтом сельского хозяйства Северного Зауралья – филиалом ТюмНЦ СО РАН, проект № FWRZ-2021-0015); ВИР, проект № FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Фомина М.Н., Иванова Ю.С., Брагина М.В., Ковалева О.Н. Оценка коллекционных образцов ярового ячменя белорусской селекции в условиях Северного Зауралья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):78-93. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-78-93

© Фомина М.Н., Иванова Ю.С., Брагина М.В., Ковалева О.Н., 2024

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-78-93

Evaluation of spring barley cultivars released in Belarus under the environmental conditions of the Northern Trans-Urals

Maria N. Fomina[1], Yulia S. Ivanova[1], Maria V. Bragina[1], Olga N. Kovaleva[2]

[1] *Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia*

[2] *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia*

Corresponding author: Yulia S. Ivanova, averyasova-uliy@mail.ru

Background. Studying the genetic diversity of *ex situ* barley accessions under contrasting environmental conditions (humid with a lack of heat, favorable, arid, etc.) makes it possible to assess them according to the duration of the growing season, resistance to lodging, potential productivity, drought resistance, grain quality, and environmental plasticity.
Materials and methods. The results of an 8-year trial (2016–2023) of 11 spring barley accessions of Belarusian origin in the northern forest-steppe zone of Tyumen Province are presented. The experiments followed the protocols adopted for the state variety trials. An SKS-6-10 seeder was used for sowing, the plot area was 5 m^2, and cv. 'Abalak' served as the reference. The seeding rate was 550 viable seeds per 1 m^2.
Results. A majority of the studied accessions matured later than the medium-ripening reference cultivar. Weather conditions during the growing season in the Northern Trans-Urals had a decisive effect on the harvest formation, protein content and starch content in barley grain (74.6%, 70.8% and 81.8%, respectively). The effect of the genotype on these indicators was 7.9%, 17.5% and 6.2%, respectively. Starch content also depended on the genotype × environment interaction (9.7%). Fat content was almost equally affected by the genotype (25.1%) and the environment (26.7%). The genotype × environment interaction was more significant (31.2%).
Conclusion. The following sources were identified among the tested cultivars: 'Vodar' (high yield, drought tolerance, etc.); 'Magutny' (high yield, and environmental plasticity); 'Khago' (large grain, low hull content, and increased protein and starch content levels); 'Lipen' (high test weight, increased starch content, and environmental plasticity); 'Fobos' (drought tolerance, and increased protein content); 'Dublet' (lodging resistance, and increased protein content); 'Taler' (reduced protein content, and environmental plasticity); 'Pospekh' (reduced protein content).

Keywords: *Hordeum vulgare* L., cultivar, yield, growing season, grain quality

Acknowledgements: the study was carried out within the framework of the state tasks according to the thematic plans: Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, a branch of Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Project No. FWRZ-2021-0015; VIR, Project No. FGEM-2022-0009 "Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production".
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Fomina M.N., Ivanova Yu.S., Bragina M.V., Kovaleva O.N. Evaluation of spring barley cultivars released in Belarus under the environmental conditions of the Northern Trans-Urals. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):78-93. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-78-93

Введение

Ячмень является основной зернофуражной культурой Российской Федерации, которая используется для производства кормов, круп, пива, а также в текстильной, кондитерской и кожевенной промышленности (Filippov et al., 2020; Popov et al., 2021). Он имеет большие преимущества в сравнении с пшеницей и овсом по урожайности, скороспелости, засухоустойчивости и солеустойчивости. В Сибири эта культура занимает одно из ведущих мест в производстве зерна (Surin et al., 2018). Перспективность ячменя для Северного Зауралья определяется не только его продуктивностью по сравнению с другими зерновыми культурами, но и высоким сбором протеина с одного гектара: ячмень в этом отношении превосходит пшеницу (Ivanova et al., 2021). Перспективен ячмень и в агротехническом аспекте. Это хорошая покровная культура для многолетних трав (Baykalova et al., 2014).

По удельному весу в структуре посевных площадей Тюменской области ячмень стоит на втором месте после пшеницы. В последние годы он занимает около 150 тысяч гектаров. Высевают ячмень в основном в лесостепной зоне Тюменской области. Однако практика передовых хозяйств и опыт государственных сортоиспытательных участков показывает, что почвенно-климатические условия в большинстве лет благоприятны для возделывания ячменя во всех сельскохозяйственных зонах Тюменской области (Zoning of crop cultivars…, 2021).

Крупные резервы повышения продуктивности и качества зерна ячменя, наряду с совершенствованием технологии возделывания, заложены в создании сортов с высоким потенциалом урожайности, отзывчивых на условия интенсивного земледелия, устойчивых к действию абиотических и биотических стрессов в конкретных природно-климатических условиях (Shchennikova, Kokina 2021).

Для успешного развития селекции и создания новых сортов, отвечающих требованиям производства, необходимо постоянное расширение генетического разнообразия. Для этого требуется выделение новых источников хозяйственно ценных признаков и свойств. Научно обоснованный подбор исходного материала для селекции является обязательным условием ее успеха (Surin et al., 2023). Важная роль при этом принадлежит генофонду Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), на базе которого создается новейший сортимент в научных учреждениях для использования в практической селекции (Maksimov, 2015).

В Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ, зарегистрировано более 200 сортов ярового ячменя, в том числе 11 сортов белорусской селекции (State Register…, 2023). Белорусские сорта рекомендованы для возделывания главным образом в европейской части РФ. Однако коллекционные образцы белорусского происхождения представляют большой интерес в качестве ценного исходного материала для создания сортов ярового ячменя и в условиях Сибири, включая Северное Зауралье.

Цель – оценить селекционное значение коллекционных образцов ярового ячменя белорусской селекции для условий Северного Зауралья.

Материалы и методы

Полевые исследования проводили на опытном поле Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья (НИИСХ СЗ) – филиала Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (ТюмНЦ СО РАН) в 2016–2023 гг. в зоне северной лесостепи Тюменской области. Всего изучено 11 сортов белорусской селекции, в том числе 8 образцов (‘Магутны’, ‘Водар’, ‘Липень, ‘Хаго’, ‘Талер’, ‘Дуплет’, ‘Фобос’) оценивали с 2016 по 2023 г., сорт ‘Поспех’ – с 2018 по 2023 г., сорт ‘Шляхтціч’ – в 2022–2023 гг., ‘Фест’ и ‘Радимич’ – в 2023 г. Стандартный сорт (ст.) – ‘Абалак’, возделываемый в регионе (табл. 1).

Таблица 1. Коллекционные образцы ярового ячменя белорусской селекции, изучаемые в условиях Северного Зауралья

Table 1. Spring barley cultivars of Belarusian origin tested under the environmental conditions of the Northern Trans-Urals

№ по каталогу ВИР	Сорт	Продолжительность периода вегетации, сут.		Коэффициент вариации
		Среднее	Размах варьирования	
	‘Абалак’ (ст.)	69	66–74	4,5
Пленчатые сорта				
31149	‘Магутны’	71	64–77	6,9
31146	‘Водар’	73	67–81	6,4
31171	‘Липень’	73	65–80	7,0
31147	‘Хаго’	74	67–81	6,0
31173	‘Талер’	72	67–81	7,1
31122	‘Поспех’*	69	66–73	3,8
Голозерные сорта				
31148	‘Фобос’	71	66–76	4,9
31172	‘Дублет’	71	65–78	6,2

Примечание: * – данные за 2018–2023 гг.

Note: * – the data of 2018–2023

Опыты закладывали в соответствии с методиками государственного сортоиспытания и ВИР (Loskutov et al., 2012).. Технологическую и биохимическую оценку зерна проводили в аналитической лаборатории НИИСХ СЗ. Технологические показатели зерна (масса 1000 зерен и пленчатость) определяли в соответствии с Государственными стандартами (GOST 10842-89..., 2009; GOST 10843-76..., 2009). Определение натуры зерна проводили на микропурке, г/10 см^3 (в связи с малым количеством зерна). Содержание сырого протеина определяли фотоколориметрическим методом (Kurkaev et al., 1977), содержание жира – на установке ЭЖ-101 методом экстрагирования (Rushkovsky, 1975), крахмал – поляриметрическим методом Эверса (Bukharina, Lyubimova, 2009).

Индекс экологической пластичности рассчитывали по формуле:

$$ИЭП = \frac{УС}{СУО}, \text{ где}$$

УС – урожайность сорта;

СУО – средняя урожайность всех сортов в опыте (Gryaznov, 1996).

Коллекционный питомник закладывали на серой лесной тяжелосуглинистой оподзоленной почве. Мощность пахотного горизонта – 18–30 см; содержание гумуса в почве (по Тюрину) – 1,50–4,75%; кислотность солевой вытяжки (по Алямовскому) – 5,5–6,8 Ед pH; содержание нитратного азота (по Градндвалю – Ляжу) – 6,6–7,9 мг/кг почвы; подвижных форм (по Чирикову) фосфора и калия – 19,8–24,5 и 19,0–20,6 мг/100 г почвы соответственно (GOST 23740-79..., 1987). Предшественник – чистый пар, горох.

Посев проводили сеялкой СКС-6-10, учетная площадь делянки – 5 м^2, стандарт 'Абалак' высевался через 20 номеров. Норма высева – 550 всхожих семян на 1 м^2. Почву обрабатывали в соответствии с агротехническими рекомендациями, принятыми для данной почвенно-климатической зоны. Уборку проводили комбайном «Сампо 130» в фазу полной спелости.

Математическую обработку результатов осуществляли методом дисперсионного анализа (Dospekhov, 1985) с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel и Snedekor (Sorokin, 2004).

Метеорологические условия вегетационного периода в годы исследований отличались по обеспеченности растений теплом и влагой. Увлажненными были 2017, 2018, 2019 и 2022 г. – гидротермический коэффициент (ГТК) составил 1,36–1,68. Недостаточной влагообеспеченностью и высокой температурой характеризовались 2016, 2020, 2021 и 2023 г. (ГТК соответственно составил 0,69; 0,89; 0,42; 0,74). Недобор тепла (99,0% к норме) при достаточно высоком увлажнении (126,3% к норме) отмечен в 2018 г. Дефицит тепла отмечали также в отдельные месяцы 2017 г. (май, июль), 2019 г. (июнь) и 2023 г. (вторая и третья декады июня), однако высокие среднесуточные температуры в течение остального периода вегетации компенсировали этот недостаток. Сумма положительных температур в целом за вегетационный период в 2017, 2018, 2019 и 2022 г. была близка к норме; в 2016, 2020, 2021 и 2023 г. превысила среднее многолетнее значение на 14,2–22,9% (рис. 1, 2, 3, 4).

Результаты и их обсуждение

Сорта белорусской селекции отличаются высокой продуктивностью и являются исходным материалом по этому признаку для многих регионов РФ. Кроме того, они способны формировать зерно высокого качества, которое можно использовать для производства кормов, круп и в пивоварении.

Продолжительность вегетационного периода – один из ведущих факторов получения устойчивого урожая. Особенно остро этот вопрос стоит в северных районах РФ с ограниченными тепловыми ресурсами (Surin, Lyakhova, 2017; Surin et al., 2023). Для сельскохозяйственных регионов Северного Зауралья характерно позднее прекращение весенних и раннее наступление осенних заморозков, что определяет необходимость оценки исходного материала по продолжительности вегетационного периода. Стандартный сорт 'Абалак' относится к группе среднеспелых и созревал в среднем за 69 суток с амплитудой колебания 66–74 сут. Продолжительность вегетационного периода коллекционных образцов белорусского происхождения в среднем составила 69–74 сут. с амплитудой изменчивости по годам от 64 до 81 суток (табл. 2).

Различия существовали и в продолжительности отдельных этапов вегетационного периода. Продолжительность основных межфазных периодов («всходы – колошение», «колошение – восковая спелость») изменялась в широких пределах в зависимости от сорта и условий выращивания. Продолжительность периода от всходов до колошения у стандартного сорта 'Абалак' в среднем составила 36 суток (с колебаниями 31–41 сут.), а периода «колошение – восковая спелость» –



Рис. 1. Количество осадков за вегетационный период, май – август (Тюмень, 2016–2023 гг.)

Fig. 1. Precipitation amounts during the growing seasons, May – August (Tyumen, 2016–2023)



Рис. 2. Среднесуточная температура за вегетационный период, май – август (Тюмень, 2016–2023 гг.)
Fig. 2. Mean daily temperatures during the growing seasons, May – August (Tyumen, 2016–2023)



Рис. 3. Сумма положительных температур, май – август (Тюмень, 2016–2023 гг.)
Fig. 3. Sums of positive temperatures, May – August (Tyumen, 2016–2023)

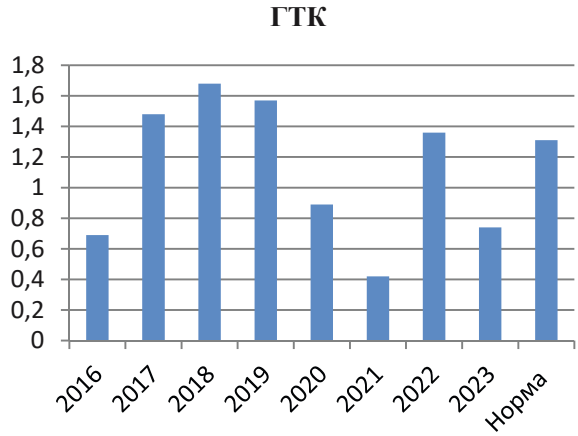


Рис. 4. Гидротермический коэффициент, май – август (Тюмень, 2016–2023 гг.)
Fig. 4. Hydrothermal coefficients, May – August (Tyumen, 2016–2023)

Таблица 2. Продолжительность вегетационного периода
(Тюмень, 2016–2023 гг.)

Table 2. Duration of the growing season (Tyumen, 2016–2023)

№ по каталогу ВИР	Сорт	Продолжительность периода вегетации, сут.		Коэффициент вариации
		Среднее	Размах варьирования	
	‘Абалак’ (ст.)	69	66–74	4,5
Пленчатые сорта				
31149	‘Магутны’	71	64–77	6,9
31146	‘Водар’	73	67–81	6,4
31171	‘Липень’	73	65–80	7,0
31147	‘Хаго’	74	67–81	6,0
31173	‘Талер’	72	67–81	7,1
31122	‘Поспех’*	69	66–73	3,8
Голозерные сорта				
31148	‘Фобос’	71	66–76	4,9
31172	‘Дублет’	71	65–78	6,2

Примечание: * – данные за 2018–2023 гг.

Note: * – the data of 2018–2023

33 сут. (с колебаниями 28–41 сут.). У коллекционных образцов белорусского происхождения первый этап был длиннее на 3–6 сут. по сравнению со стандартом, а второй у большинства сортов был короче на 1–4 сут. (табл. 3).

Учитывая периодически повторяющиеся в сельскохозяйственных районах Северного Зауралья весенне-летние засухи, предпочтение отдается сортам с более продолжительным первым и коротким вторым межфазными периодами. В этом плане изучаемый сортимент представляет интерес для создания сортов, приспособленных к неблагоприятным условиям региона.

Интегрированным показателем сорта является урожайность, которая определяет его востребованность в производстве (Kozubovskaya et al., 2017). Проведенный анализ показал влияние отдельных факторов на урожайность коллекционных образцов ярового ячменя в зоне северной лесостепи Тюменской области. Решающее значение на формирование урожая оказывали метеорологические условия в период вегетации (рис. 5).

В изученной группе образцов урожайность также значительно варьировала в зависимости от сорта и погодных условий. Средняя урожайность изучаемых образцов колебалась от 401,4 г/м^2 (‘Поспех’) до 611,2 г/м^2 (‘Водар’). Влияние погодных условий было значительным, но не однозначным (V = 25,5–44,4%). Меньше других сортов на изменение условий среды реагировали сорта ‘Поспех’ (V = 25,5%) и ‘Водар’ (V = 28,2%). Наибольшей изменчивостью отличился сорт ‘Хаго’ (V = 44,4%) (табл. 4).

Высокий урожай зерна в течение восьми лет изучения формировали сорта ‘Магутны’ и ‘Водар’. Они почти ежегодно по урожайности превышали стандарт (‘Абалак’) на 5,2–26,1%. Средняя прибавка урожая за годы изучения (2016–2023 гг.) составила по сорту ‘Магутны’ 44,6 г/м^2 (7,9%), по сорту ‘Водар’ – 47,7 г/м^2 (8,5%). Не уступали стандарту по урожайности также сорта ‘Липень’ и ‘Талер’ (табл. 5).

Основным препятствием на пути повышения урожайности ячменя является несоответствие между потребностью растений во влаге и ее наличием в почве и воздухе. Ячмень, в отличие от других хлебных злаков, более экономно расходует влагу на образование единицы сухого вещества. Он отличается высокой засухоустойчивостью и жаровыносливостью. Ускоренный рост этой культуры на ранних фазах развития позволяет ей с наибольшей полнотой использовать запасы осенней, зимней и ранневесенней влаги, что ослабляет воздействие последующей засухи. Скороспелость ячменя дает возможность «уходить» от губительных поздних засух и суховеев. Однако эта его особенность ограничивает использование поздно выпадающих осадков (Trofimovskaya, 1972). Длительные весенне-летние засухи, характерные для Северного Зауралья, как и для Сибири в целом, наносят ощутимый вред формированию урожая ячменя, так как осадки, выпадающие во второй половине вегетации, ячмень эффективно использовать не может. Недостаток воды в период «всходы – колошение» ограничивает рост, снижает кустистость, число колосков и зерен в колосе. Возрастает количество стерильных колосков. Засуха в период от колошения до созревания снижает выполненность, натуру и абсолютный вес зерна. Все это влечет за собой резкое снижение урожайности. Степень снижения количества и качества урожая под воздействием засухи во многом зависит от засухоустойчивости сортов (Surin et al., 2003).

За годы изучения коллекции (2016–2023 гг.) засуха особенно сильно проявилась в 2021 и 2023 г. Среднесуточная температура в мае 2021 г. превышала среднюю многолетнюю на 6,7°С, осадки этого периода составили 11,8% от нормы, ГТК = 0,08. Дефицит влаги сохранялся на протяжении всего вегетационного период (ГТК июня = 0,44; ГТК июля = 0,84; ГТК августа = 0,33). Сухой и жаркой погодой в 2023 г. характеризовались май (ГТК = 0,03) и первая половина июня (ГТК = 0,12). Существен-

Таблица 3. Продолжительность межфазных периодов
(Тюмень, 2016–2023 гг.)

Table 3. Duration of interphase periods (Tyumen, 2016–2023)

№ по каталогу ВИР	Сорт	Период «всходы – колошение», сут.		Период «колошение – восковая спелость», сут.	
		Среднее	Размах варьирования	Среднее	Размах варьирования
	‘Абалак’ (ст.)	36	31–41	33	28–41
Пленчатые сорта					
31149	‘Магутны’	39	34–43	32	28–44
31146	‘Водар’	42	38–45	31	25–41
31171	‘Липень’	40	37–44	33	26–41
31147	‘Хаго’	42	37–46	32	23–42
31173	‘Талер’	40	36–44	32	28–42
31122	‘Поспех’*	40	36–46	29	24–32
Голозерные сорта					
31148	‘Фобос’	41	36–46	30	25–38
31172	‘Дублет’	40	34–45	31	29–33

Примечание: * – данные за 2018–2023 гг.

Note: * – the data of 2018–2023

ные осадки выпали лишь в конце второй и начале третьей декады этого месяца. Растения находились уже в межфазном периоде «выход в трубку – начало колошения» и использовать выпавшие осадки в полной мере не могли. Сухими и жаркими были июль и август (ГТК соответственно составил 0,79 и 0,38). Сложившиеся экстремальные условия сильно угнетали растения, они слабо кустились, высота снизилась до 40–60 см, резко упала урожайность.

В качестве основного показателя оценки на засухоустойчивость была взята урожайность испытываемых образцов в благоприятных и засушливых условиях. Наиболее благоприятными для роста и развития растений ячменя были погодные условия 2017 г. (ГТК = 1,48) и 2022 г. (ГТК = 1,36). Достаточное количество тепла и влаги за вегетационный период обеспечило формирование максимального урожая коллекционных образцов. В условиях засухи урожайность снизилась в два и более раза (с 539,5–807,2 г/м^2 до 166,6–358,5 г/м^2). Реакция сортов на дефицит влаги и высокие температуры была неоднозначной. Стандартный сорт ‘Абалак’, характеризующийся средней засухоустойчивостью, снизил урожайность при недостатке влаги на 57,9%. Более выносливыми были сорта ‘Фобос’ и ‘Водар’ (снижение урожайности составило соответственно 48,9 и 55,6%). Все остальные сорта уступали стандарту по засухоустойчивости. Сильнее других сортов на засушливые условия реагировал сорт ‘Хаго’. Потеря урожая в условиях засухи у него составила более 70% (табл. 6).

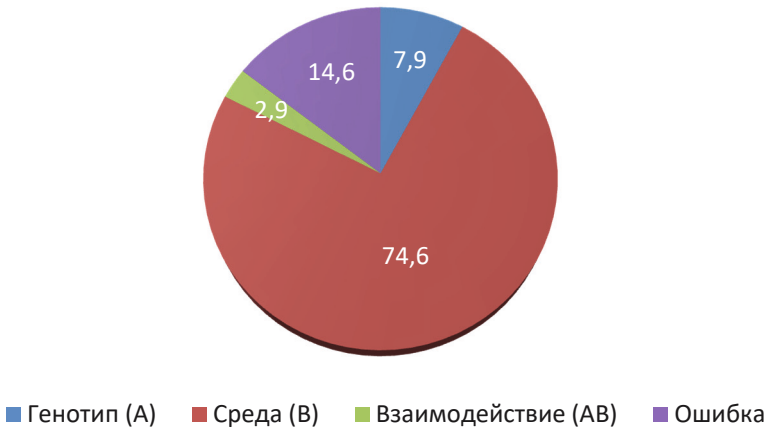


Рис. 5. Влияние факторов на урожайность коллекционных образцов ярового ячменя белорусской селекции

Fig. 5. The effect of the factors on the yield of spring barley cultivars of Belarusian origin

Таблица 4. Варьирование урожайности коллекционных образцов ярового ячменя белорусской селекции (Тюмень, 2016–2023 гг.)

Table 4. Yield variation in spring barley cultivars of Belarusian origin (Tyumen, 2016–2023)

№ по каталогу ВИР	Сорт	Урожайность, г/м²		Коэффициент вариации
		Среднее	Размах варьирования	
	‘Абалак’ (ст.)	563,5	290,0–760,2	31,0
Пленчатые сорта				
31149	‘Магутны’	608,0	252,2–808,6	32,7
31146	‘Водар’	611,2	315,0–814,4	28,2
31171	‘Липень’	562,0	204,0–833,3	38,5
31147	‘Хаго’	493,6	148,0–773,6	44,4
31173	‘Талер’	567,5	267,5–881,7	37,6
31122	‘Поспех’*	401,4	234,0–612,0	25,5
Голозерные сорта				
31148	‘Фобос’	407,9	211,2–669,0	33,1
31172	‘Дублет’	411,5	130,0–683,6	39,5

Примечание: * – данные за 2018–2023 гг.

Note: * – the data of 2018–2023

Таблица 5. Урожайность коллекционных образцов ярового ячменя белорусской селекции (Тюмень, 2016–2023 гг.)

Table 5. Yield of spring barley cultivars of Belarusian origin (Tyumen, 2016–2023)

№ по каталогу ВИР	Сорт	Урожайность, г/м²								
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Среднее
	‘Абалак’ (ст.)	675	760,2	578,9	494,7	644,0	290,0	726,2	339,0	563,5
Пленчатые сорта										
31149	‘Магутны’	792,5	765,0	630,0	624,0	610,0	252,5	808,6	382,0	608,1
31146	‘Водар’	670,0	800,0	678,0	616,0	568,0	315,0	814,4	428,0	611,2
31171	‘Липень’	740,0	833,3	496,0	624,0	614,0	300,0	685,1	204,0	562,0
31147	‘Хаго’	585,0	623,3	460,0	578,0	596,0	185,0	773,6	148,0	493,6
31173	‘Талер’	685,0	881,7	732,0	475,0	556,0	267,5	646,6	296,0	567,5
31122	‘Поспех’*			428,0	372,0	512,0	365,0	497,2	234,0	401,4
31225	‘Шляхтціч’**							514,8	164,0	339,4
31327	‘Фест’***								240,0	
31326	‘Радимич’***								288,0	
Голозерные сорта										
31148	‘Фобос’	305,0	480,0	424,0	414,0	420,0	211.2	669,0	340,0	407,9
31172	‘Дублет’	390,0	536,7	484,0	376,0	356,0	130,0	683,6	336,0	411.5
НСР$_{05}$		26,7	26,4	23,3	21,0	20,2	15,3	25,3	27,6	

Примечание: * – 2018–2023 гг.; ** – 2022–2023 гг.; *** – 2023 г.

Note: * – 2018–2023; ** – 2022–2023; *** – 2023

Таблица 6. Урожайность ярового ячменя белорусской селекции в контрастных условиях среды
(Тюмень, 2016–2023 гг.)

Table 6. Yields of spring barley accessions of Belarusian origin under contrasting environmental conditions
(Tyumen, 2016–2023)

№ по каталогу ВИР	Сорт	Урожайность в контрастных условиях среды, г/м²						Снижение урожайности, %
		Благоприятные			Засушливые			
		2017	2022	среднее	2021	2023	среднее	
	‘Абалак’ (ст.)	760,2	726,2	748,2	290,0	339,0	314,7	57,9
Пленчатые сорта								
31149	‘Магутны’	765,0	808.6	786,8	252.5	382,0	317,2	59,7
31146	‘Водар’	800,0	814.4	807,2	315,0	402,0	358,5	55,6
31171	‘Липень’	833,3	685.1	759,2	300,0	204,0	252,0	66,8
31147	‘Хаго’	623,3	773,6	698,4	185,0	148,0	166,5	76,2
31173	‘Талер’	881,7	646.6	764,1	267.5	296,0	281,8	63,1
31122	‘Поспех’		497,2		365,0	234,0	299,5	60,2
31225	‘Шляхтціч’		514,8			164,0		68,2
Голозерные сорта								
31148	‘Фобос’	480,0	669,0	539,5	211.2	340,0	275,6	48,9
31172	‘Дублет’	536,7	683,6	610,2	130,0	336,0	233,0	61,8
	$НСР_{05}$	26,4	25,3		15,3	27,6		

Одним из сдерживающих факторов в получении устойчивых высоких урожаев зерна является полегание. Недобор зерна в результате полегания у зерновых культур может достигать 15–40% (Tretyakov, Yakovlev, 1984). Оценка коллекционных образцов белорусского происхождения по устойчивости к полеганию показала, что большинство из них превосходили стандарт (‘Абалак’) по данному показателю на 0,6–1,3 балла. Исключение составил сорт ‘Поспех’. На степень полегания существенное влияние оказывали погодные условия в период вегетации. Значительное полегание отмечалось в 2018, 2019 и 2022 г. В условиях жесткой засухи 2021 г. полегание практически не проявлялось. Устойчивость к полеганию сильно варьировала у всех изучаемых образцов (V = 38,7–64,2%), однако белорусские сорта отличались меньшей изменчивостью данного показателя по сравнению со стандартом (‘Абалак’). Меньше других полегали сорта ‘Водар’ и ‘Дублет’.

Полегание сельскохозяйственных культур – сложное явление, которое определяется не только влиянием факторов среды, но и комплексом биологических и морфологических особенностей растений. Полегание в значительной мере зависит от таких показателей, как мощность развития корневой системы и силы сцепления ее с почвой, степень развития надземных органов, в том числе высота, прочность и гибкость соломины (Kovrigina, 2002; Koftun V.I., Koftun L.N., 2014).

В условиях Северного Зауралья устойчивость к полеганию у изучаемых образцов ячменя достаточно тесно была связана с высотой соломины (r = –0,61 ± 0,27). Высота растений в зависимости от сорта в среднем варьировала от 71,1 см (‘Водар’) до 81,7 см (‘Фобос’, ‘Липень’), но в значительной степени зависела от условий выращивания. При благоприятных погодных условиях (2017, 2022 г.) высота растений составляла 89,5–105,4 см, в условиях засухи (2021 г.) – 44,0–70,0 см. Значительная изменчивость высоты стеблестоя (V > 20%) была отмечена у сортов ‘Липень’, ‘Талер’ и ‘Дублет’. Меньшей изменчивостью (V < 20%) характеризовались сорта ‘Фобос’, ‘Водар’, ‘Хаго’ и ‘Поспех’ (табл. 7).

Одним из актуальных и перспективных направлений в селекции ячменя является создание сортов, обеспечивающих получение продукции высокого качества (Batalova, 2017). Качество зерна в первую очередь определяется технологическими свойствами, которые при переработке обеспечивают выход готовой продукции и формируются под воздействием большой группы факторов в процессе вегетации, послеуборочной обработки и хранения (Andreev et al., 2016). Основными технологическими показателями качества зерна ячменя являются его натурный вес и пленчатость. Натура зерна зависит от крупности, формы и однородности (Surin et al., 2023). Высокая натурная масса характеризует возможность использования зерна на продовольственные цели и в пивоварении. Натурный вес стандартного сорта (‘Абалак’) в среднем составил 5,97 г/10 $см^3$ с колебаниями 5,71–6,21 г/10 $см^3$. Его превосходили голозерные образцы, а также пленчатые сорта ‘Водар’ и ‘Липень’. В плане формирования высоконатурного зерна большой интерес представляет сорт ‘Водар’, который отличался меньшей изменчивостью данного показателя (V = 1,56). Сильнее других на изменение условий среды при формировании натурной массы реагировал сорт ‘Магутны’ (V = 7,29) (табл. 8).

Доля цветковой чешуи в составе зерновки (пленчатость) существенно отражается на качестве получаемой

Таблица 7. Устойчивость к полеганию и высота растений коллекционных образцов ярового ячменя белорусской селекции (Тюмень, 2017–2023 гг.)

Table 7. Lodging resistance and plant height of spring barley cultivars of Belarusian origin (Tyumen, 2017–2023)

№ по каталогу ВИР	Сорт	Устойчивость к полеганию, балл		V	Высота растений, см		V
		$\bar{x}$	R		$\bar{x}$	R	
	‘Абалак’ (ст.)	5,2	1,7–9,0	64,2	77,4	57,9–92,8	15,2
Пленчатые сорта							
31149	‘Магутны’	5,9	3,0–9,0	42,7	71,1	50,0–89,5	20,0
31146	‘Водар’	6,1	3,5–9,0	38,7	77,0	57,5–96,4	16,9
31171	‘Липень’	5,8	3,0–9,0	43,9	81,7	52,5–105,4	23,0
31147	‘Хаго’	6,2	2,0–9,0	47,5	81,4	61,0–93,3	17,5
31173	‘Талер’	5,4	2,5–9,0	53,6	77,2	44,0–99,4	24,2
31122	‘Поспех’*	4,2	1,0–9,0	47,2	76,8	70,0–92,0	13,0
Голозерные сорта							
31148	‘Фобос’	6,5	2,0–9,0	45,4	81,7	59,0–100,0	17,7
31172	‘Дублет’	6,0.	4,0–9,0	39,4	75,1	50,0–90,5	20,4

Примечание: * – данные за 2018–2023 гг.; $\bar{x}$ – среднее; R – размах варьирования; V – коэффициент вариации

Note: * – the data of 2018–2023; $\bar{x}$ is the mean; R is the range of variation; V is the coefficient of variation

Таблица 8. Натурный вес и пленчатость зерна коллекционных образцов ярового ячменя белорусской селекции (Тюмень, 2019–2022 гг.)

Table 8. Test weight and hull content in the grain of spring barley cultivars of Belarusian origin (Tyumen, 2019–2022)

№ по каталогу ВИР	Сорт	Натура зерна, г/10 см³		V	Пленчатость, %		V
		Среднее	Размах варьирования		Среднее	Размах варьирования	
	‘Абалак’ (ст.)	5,97	5,71–6,21	3,74	8,62	8,40–8,83	3.52
Пленчатые сорта							
31149	‘Магутны’	5,94	5,50–6,40	7,29	8,11	7,03–9,18	18,83
31146	‘Водар’	6,14	6,04–6,26	1,56	7,88	7,82–7,94	1,07
31171	‘Липень’	6,01	5,70–6,25	4,63	8,07	7,50–8,64	9,.98
31147	‘Хаго’	5,88	5,63–6,05	3,20	7,70	7,60–7,80	1,83
31173	‘Талер’	5,93	5,60–6,26	4,86	8,60	8,21–9,00	6,49
31122	‘Поспех’	5,94	5,65–6,38	5,26	8,04	8,00–8,09	0,79
Голозерные сорта							
31148	‘Фобос’	6,02	5,75–6,42	4,78			
31172	‘Дублет’	6,60	6,23–7,08	5,37			

Примечание: V – коэффициент вариации

Note: V is the coefficient of variation

продукции. Для получения высококачественных продуктов питания из ячменя пленчатость является одним из основных его недостатков. В пивоварении наличие цветочных пленок необходимо, так как они играют роль фильтра для сусла (Gryaznov, 1996). Поэтому подбор сортов в производственных условиях производится с учетом получения конечного продукта. Пленчатость изучаемых образцов варьировала в пределах 7,03–9,18%. Доля цветковых чешуй в составе зерновки стандартного сорта ('Абалак') в среднем составила 8,62% с колебаниями 8,40–8,83%. На уровне стандарта пленчатость формировал сорт 'Талер'. Низкой пленчатостью характеризовались сорта 'Водар' и 'Хаго'. Следует отметить неоднозначную реакцию сортов на условия выращивания при формировании цветковой чешуи. Большая изменчивость данного показателя отмечена у сорта 'Магутны' (V = 18,83%). Меньшей изменчивостью характеризовались сорта: 'Водар' (V = 1,07%), 'Хаго' (V = 1,83%) и 'Поспех' (V = 0,79%).

Масса 1000 зерен – не только элемент структуры урожайности, но и один из показателей технологической оценки зерна, которая тесно связана с его крупностью. Масса 1000 зерен – сортовой признак, но он в значительной степени зависит и от условий выращивания. На ее величину решающее значение оказывает гидротермический режим в период формирования и налива зерна. У стандартного сорта ('Абалак') за годы изучения (2016–2023 гг.) этот показатель в среднем составил 52,1 г с колебаниями 49,9–56,9 г. У изучаемых образцов среднее значение массы 1000 зерен варьировало от 45,3 г ('Липень') до 59,1 г ('Хаго'). Влагообеспеченность и температурный режим, наряду с генотипом, также оказывали влияние на варьирование массы 1000 зерен. Максимальные значения данного показателя у большинства испытываемых образцов отмечались в 2017 и 2022 г. (благоприятный гидротермический режим), а минимальные его значения – в 2020 и 2021 г. (дефицит влаги во второй половине вегетации; в июле ГТК составил соответственно 0,28 и 0,84; в августе – 0,95 и 0,33). Установлена слабая изменчивость (V < 10%) массы 1000 зерен у всех оцениваемых образцов. Максимальное варьирование признака зафиксировали у сорта 'Хаго' (V = 8.62%), меньше других на условия среды реагировал сорт 'Фобос' (V = 3,21%) (табл. 9).

Таблица 9. Масса 1000 зерен у коллекционных образцов ярового ячменя белорусской селекции (Тюмень, 2016–2023 гг.)

Table 9. Thousand-grain weight of spring barley cultivars of Belarusian origin (Tyumen, 2016–2023)

№ по каталогу ВИР	Сорт	Масса 1000 зерен, г		Коэффициент вариации
		Среднее	Размах варьирования	
	'Абалак' (ст.)	52,1	49,9–56,9	4,74
Пленчатые сорта				
31149	'Магутны'	52,1	45,9–56,6	6,46
31146	'Водар'	52,9	48,2–55,5	4,83
31171	'Липень'	44,9	41,1–47,0	4,61
31147	'Хаго'	59,1	51,8–65,0	8,62
31173	'Талер'	47,1	44,0–50,5	6,04
31122	'Поспех'*	52,3	49,4–56,5	5,70
Голозерные сорта				
31148	'Фобос'	51,6	49,5–54,3	3,21
31172	'Дублет'	49,2	44,5–53,0	6,06

Примечание: * – данные за 2018–2023 гг.

Note: * – the data of 2018–2023

В зерне зрелого ячменя содержится 80–90% сухого вещества и 10–20% воды. В состав сухого вещества входят органические и неорганические элементы. Органические соединения включают в себя азотистые вещества (главным образом в форме белков), безазотистые вещества (главным образом углеводы), липиды (сырой жир) и витамины (Trofimovskaya, 1972). Изменчивость химического состава в большой степени связана с биологической пластичностью сорта и его приспособленностью к условиям среды. Проведенные исследования показали неоднозначное влияние генотипа и среды на формирование биохимических показателей (содержание белка, жира и крахмала). Формирование белка и крахмала в большей степени зависело от условий выращивания (доля влияния среды составила соответственно 70,8% и 81,8%). На содержании белка также существенно отражались сортовые особенности (влияние генотипа – 17,5%). Влияние генотипа при формировании крахмала было незначительным (6,2%), большую роль играло взаимодействие «генотип × среда» (9,7%). Содержание

жира почти равнозначно зависело как от сорта (25,1%), так и от условий выращивания (26,7%). Более значимым было взаимодействие «генотип × среда».

Из всех питательных веществ наибольшую ценность представляют белки, которые не могут быть заменены никакими другими пищевыми веществами (Gryaznov, 1996). Климатические условия Северного Зауралья, как и Сибири в целом, более пригодны для выращивания кормового ячменя с повышенным содержанием протеина. Повышенное содержание белка в зерне (> 14%) наблюдалось у пленчатого сорта 'Хаго' и голозерных образцов 'Фобос' и 'Дублет' при показателе стандарта ('Абалак') 13,52%. Не уступали стандарту по белковости также сорта 'Магутны' и 'Водар'. Меньшим содержанием белка характеризовались образцы 'Талер' и 'Поспех' Зерно ячменя содержит масла в небольшом количестве. Они не имеют большого питательного значения при использовании зерна на корм скоту, но очень важны для поддержания жизни зародыша (Trofimovskaya, 1972). Содержание жира у изучаемых образцов варьировало в среднем от 1,50% ('Водар') до 2,08% ('Фобос') при показателе стандартного сорта 'Абалак' 1,87% (табл. 10). Крахмал является основным компонентом углеводного комплекса и сосредоточен главным образом в паренхимных тканях зерновки в виде крахмальных зерен (Trofimovskaya, 1972). От содержания крахмала в зерне напрямую зависит величина экстрактивности и в конечном итоге – качество пива и экономическая эффективность производства (Gryaznov, 1996). Стандартный сорт 'Абалак' накапливал в зерне 55,22–63,17% крахмала. Уровень крахмалистости зерна коллекционных образцов ячменя белорусского происхождения в зоне северной лесостепи Тюменской области находился в пределах 55,45–63,57%. Высоким содержанием крахмала отличались образцы 'Липень' и 'Хаго' (см. табл. 10).

Химический состав зерна по всем его компонентам подвержен значительной изменчивости в зависимости от генетических свойств сорта и условий выращивания. Большинство изучаемых образцов характеризовались средней изменчивостью (10% < V < 20%) по содержанию белка и жира. Амплитуда изменчивости по белку у них составила 3,03–5,19%, по жиру – 0,24–0,63%. Значительной изменчивостью этих показателей отличался сорт 'Хаго'. Он имел максимальную амплитуду изменчивости по белку (5,26%) и достаточно высокую по жиру (0,96%), коэффициент вариации (V) составил соответственно 20,37 и 26,62%. Значительную изменчивость по содержанию жира отмечали у сорта 'Дублет' (амплитуда изменчивости – 1,15; V = 36,39%). Незначительная изменчивость (V < 10%) у изучаемых образцов была отмечена по содержанию крахмала (табл. 11).

Возможность сочетания в одном генотипе высокой продуктивности и устойчивости к воздействию экологических стрессов требует наличия адаптивного исходного материала. Для оценки экологической пластичности коллекционных образцов использовали индекс экологической пластичности (ИЭП). Стандартный сорт 'Абалак' достаточно приспособлен к различным условиям возделывания. Его средний показатель ИЭП составил 1,07. На уровне стандарта этот показатель был у сортов 'Водар', 'Липень' и 'Талер'. Наиболее выраженный средний показатель индекса экологической пластичности (1,14) имел сорт 'Магутны'. Все остальные образцы достаточно сильно реагировали на изменение условий среды и имели средний показатель ИЭП меньше 1 (табл. 12).

Таблица 10. Содержание белка, жира и крахмала в зерне коллекционных образцов ярового ячменя белорусской селекции (Тюмень, 2019–2021 гг.)

Table 10. Protein, fat and starch content in the grain of spring barley cultivars of Belarusian origin (Tyumen, 2019–2021)

№ по каталогу ВИР	Сорт	Содержание, %					
		белка		жира		крахмала	
		среднее	размах варьирования	среднее	размах варьирования	среднее	размах варьирования
	'Абалак' (ст.)	13,52	11,97–15,74	1,87	1,50–2,23	59,23	55,22–63,17
Пленчатые сорта							
31149	'Магутны'	13,64	12,11–15,14	1,62	1,48–1,72	58,89	56,30–62,93
31146	'Водар'	13,62	11,11–16,30	1,50	1,23–1,82	59,68	57,09–62,74
31171	'Липень'	13,08	11,97–15,16	1,87	1,65–2,26	60,16	56,76–62,95
31147	'Хаго'	14,09	12,08–17,34	1,86	1,45–2,41	60,86	57,73–63,57
31173	'Талер'	12,64	10,70–15,54	1,75	1,52–1,94	59,30	55,90–61,16
31122	'Поспех'	12,49	10,83–14,25	1,93	1,77–2,21	58,64	55,45–61,03
Голозерные сорта							
31148	'Фобос'	15,01	12,83–16,25	2,08	1,69–2,32	58,99	55,68–62,91
31172	'Дублет'	14,77	13,24–17,38	1,64	1,10–2,25	58,29	51,96–61,52

Таблица 11. Изменчивость компонентов химического состава зерна у коллекционных образцов ярового ячменя белорусской селекции (Тюмень, 2019–2021 гг.)

Table 11. Variability of the chemical composition in the grain of spring barley cultivars of Belarusian origin (Tyumen, 2019–2021)

№ по каталогу ВИР	Сорт	Содержание белка, %		Содержание жира, %		Содержание крахмала, %	
		амплитуда изменчивости	V	амплитуда изменчивости	V	амплитуда изменчивости	V
	‘Абалак’ (ст.)	3,77	14,58	0,73	19,51	6,87	6,71
Пленчатые сорта							
31149	‘Магутны’	3,03	11,11	0,24	7,80	6,63	6,01
31146	‘Водар’	5,19	19,08	0,59	19,93	5,65	4,78
31171	‘Липень’	3,19	13,76	0,61	18,11	6,19	4,94
31147	‘Хаго’	5,26	20,37	0,96	26,62	5,84	4,84
31173	‘Талер’	4,84	20,24	0,42	12,22	5,26	4,97
31122	‘Поспех’	3,42	13,71	0,44	12,73	5,58	9,40
Голозерные сорта							
31148	‘Фобос’	3,42	13,61	0,63	16,38	7,23	6,42
31172	‘Дублет’	4,14	15,39	1,15	36,39	9,56	4,89

Примечание: V – коэффициент вариации

Note: V is the coefficient of variation

Таблица 12. Показатели индекса экологической пластичности (ИЭП) коллекционных образцов ячменя белорусской селекции (Тюмень, 2016–2023 гг.)

Table 12. Values of the environmental plasticity index (EPI) in spring barley cultivars of Belarusian origin (Tyumen, 2016–2023)

№ по каталогу ВИР	Сорт	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Среднее
	‘Абалак’ (ст.)	1,11	1,12	1,03	0,99	1,08	1,07	1,00	1,14	1,07
31148	‘Фобос’	0,50	0,71	0,75	0,83	0,68	0,78	0,92	1,14	0,79
31149	‘Магутны’	1,30	1,12	1,12	1,25	0,99	0,93	1,11	1,28	1,14
31146	‘Водар’	1,10	1,18	1,10	1,23	0,92	0,76	1,12	1,34	1,09
31171	‘Липень’	1,22	1,22	0,88	1,25	1,00	1,10	0,94	0,68	1,04
31147	‘Хаго’	0,96	0,92	0,82	1,15	0,97	0,68	1,06	0,50	0,88
31173	‘Талер’	1,12	1,30	1,31	1,00	0,91	0,98	0,89	1,00	1,06
31172	‘Дублет’	0,64	0,79	0,86	0,75	0,58	0,48	0,94	1,12	0,77
31122	‘Поспех’			0,77	0,74	0,64	1,34	0,68	0,78	0,82
31225	‘Шляхтціч’							0,71	0,55	0,63
31327	‘Фест’								0,80	
31326	‘Радимич’								0,96	

Заключение

В условиях Северного Зауралья в течение 8 лет (2016–2023 гг.) проводили испытание 11 коллекционных образцов ярового ячменя белорусской селекции.

Изучение коллекционных образцов в контрастных условиях среды (влажные с недобором тепла, благоприятные, засушливые) позволило оценить их по продолжительности вегетационного периода, высоте растений и устойчивости к полеганию, потенциальной продуктивности, засухоустойчивости, качеству зерна и экологической пластичности. Большинство изучаемых образцов созревали на 2–5 суток позднее стандартного среднеспелого сорта ‘Абалак’ (период вегетации – 66–74 сут.). Продолжительность вегетационного периода возрастала главным образом за счет удлинения первого этапа («всходы – колошение»). Представленный сортимент важен для создания сортов с более продолжительным первым («всходы – колошение») и коротким вторым («колошение – восковая спелость») межфазными периодами, способных «уходить» от весенне-летних засух, характерных для данного региона.

В Северном Зауралье решающее влияние на формирование урожая, содержание белка и крахмала в зерне оказывали метеорологические условия в период вегетации (доля их влияния составила соответственно 74,6%, 70,8% и 81,8%). Влияние генотипа на данные показатели было соответственно 7,9%, 17,5% и 6,2%. Содержание крахмала, кроме того, зависело от взаимодействия «генотип × среда» (9,7%). На содержание жира почти равнозначно влияли генотип (25,1%) и среда (26,7%). Более значимым было взаимодействие «генотип × среда» (31,2%).

Оценка технологических показателей зерна (натура, пленчатость, масса 1000 зерен) позволила выделить перспективные образцы для пищевой промышленности: пленчатые сорта ‘Водар’ и ‘Липень’; голозерные – ‘Фобос’ и ‘Дублет’.

Для оценки экологической пластичности коллекционных образцов использовали индекс экологической пластичности (ИЭП). Наиболее выраженный средний показатель ИЭП (1,04–1,14) имели сорта ‘Абалак’ (стандарт), ‘Водар’, ‘Липень’, ‘Талер’ и ‘Магутны’, что свидетельствует об их устойчивости к экологическим стрессам.

Выделены источники по комплексу и отдельным хозяйственно ценным признакам: ‘Водар’ (высокая урожайность, выносливость к засухе, устойчивость к полеганию, формирование зерна с высокой натурой и низкой пленчатостью, экологическая пластичность); ‘Магутны’ (высокая урожайность, экологическая пластичность); ‘Хаго’ (крупное зерно, низкая пленчатость, повышенное содержание белка и крахмала); ‘Липень’ (высокая натурная масса, повышенное содержание крахмала, экологическая пластичность); ‘Фобос’ (выносливость к засухе, повышенное содержание белка); ‘Дублет’ (устойчивость к полеганию, повышенное содержание белка); ‘Талер’ (пониженное содержание белка, экологическая пластичность); ‘Поспех’ (пониженное содержание белка).

Выделенные образцы перспективны для использования в селекционных программах по созданию новых сортов ячменя для условий Северного Зауралья. Ряд из них (‘Водар’, ‘Фобос’ и др.) уже включены в скрещивания, и получен гибридный материал. В 2023 г. проведены первые отборы из гибридных популяций с данными образцами, которые в 2024 г. будут оцениваться в селекционном питомнике первого года (СП-1).

References / Литература

Andreev N.R., Batalova G.A., Nosovskaya L.P., Adikaeva L.V., Gol’dshtejn V.G., Shevchenko S.N. Evaluation of technological properties of some varieties of naked oats, as raw materials for the manufacture of starch. *Legumes and Groat Crops*. 2016;1(17):83-89. [in Russian] (Андреев Н.Р., Баталова Г.А., Носовская Л.П., Адикаева Л.В., Гольдштейн В.Г., Шевченко С.Н. Оценка технологических свойств некоторых сортов голозерного овса, как сырья для производства крахмала. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2016;1(17):83-89).

Batalova G.A. Oat breeding in Volga-Vyatka region for grain quality. *Legumes and Groat Crops*. 2018;3(27):81-87. [in Russian] (Баталова Г.А. Селекция овса на качество зерна в Волго-Вятском регионе. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018;3(27):81-87). DOI: 1024411/2309-348X-2018-11038

Baykalova L.P., Serebrennikov Yu.I., Yanova M.A. Spring barley in Eastern Siberia (Yarovoy yachmen v Vostochnoy Sibiri). Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University; 2014. [in Russian] (Байкалова Л.П., Серебренников Ю.И., Янова М.А. Яровой ячмень в Восточной Сибири. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет; 2014).

Bukharina I.L., Lyubimova O.V. Plant biochemistry: a manual for agronomists of university specialties (Biokhimiya rasteniy: uchebnoye posobiye dlya agronomov spetsialnostey vuza). Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy; 2009. [in Russian] (Бухарина И.Л., Любимова О.В. Биохимия растений: учебное пособие для агрономов специальностей вуза. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия; 2009).

Dospekhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki resultatov issledovaniy]). 5th ed. Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Агропромиздат; 1985).

Filippov E.G., Dontsova A.A., Dontsov D.P., Nesterenko V.V., Serkin N.V., Kuznetsova T.E. The results of cooperation between FSBSI “ARC “Donskoy” and FSBSI “NCG named after P.P. Lukiyanenko” in winter barley breeding. *Grain Economy of Russia*. 2020;(4);50-55. [in Russian] (Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П., Нестеренко В.В., Серкин Н.В., Кузнецова Т.Е. Итоги сотрудничества ФГБНУ «АНЦ «Донской» и ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» по селекции озимого ячменя. *Зерновое хозяйство России*. 2020;(4);50-55). DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-50-55

GOST 10842-89. Interstate standard. Cereals, pulses and oilseeds. Method for determination of 1000 kernels or seeds weight. Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ 10842-89. Межгосударственный стандарт. Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян. Москва: Стандартинформ; 2009). URL: https://docs.cntd.ru/document/1200023854 [дата обращения: 06.10.2023].

GOST 10843-76. Interstate standard. Grain. Method for determination of filmness. Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ 10843-76. Межгосударственный стандарт. Зерно. Метод определения пленчатости. Москва: Стандартинформ; 2009). URL: https://

docs.cntd.ru/document/1200023859 [дата обращения: 22.10.2023].

GOST 23740-79. USSR State Standard. Soils. Methods of laboratory determination of organic composition. Moscow: Publishers of Standards; 1987. [in Russian] (ГОСТ 23740-79. Государственный стандарт. Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ. Москва: Издательство стандартов; 1987). URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4294853/4294853425.pdf [дата обращения: 05.07.2023].

Gryaznov A.A. Karabalyk barley (Karabalykskiy yachmen). Kostanay; 1996. [in Russian] (Грязнов А.А. Карабалыкский ячмень. Кустанай; 1996).

Ivanova J., Fomina M., Belousov S., Sharapova N. Comprehensive assessment of *Hordeum vulgare* in the northern forest-steppe of the Tyumen region. *BIO Web of Conferences*. 2021;36:01020. DOI: 10.1051/bioconf/20213601020

Koftun V.I., Koftun L.N. Yielding capacity, height and lodging resistance of new variety samples of soft winter wheat grown in the south of Russia. *IZVESTIA Orenburg State Agrarian University*. 2014;4(48):45-47. [in Russian] (Ковтун В.И., Ковтун Л.Н. Урожайность, высота растений и устойчивость к полеганию новых сортообразцов озимой мягкой пшеницы на юге России *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2014;4(48):45-47).

Kovrigina L.N. Morphological indicators of barley resistance to stem lodging (Morfologicheskiye pokazateli ustoychivosti yachmenya k steblevomu poleganiyu). *Bulletin of Kemerovo State University*. 2002;2(10):53-60. [in Russian] (Ковригина Л.Н. Морфологические показатели устойчивости ячменя к стеблевому полеганию. *Вестник Кемеровского государственного университета*. 2002;2(10):53-60).

Kozubovskaya G.V., Kozubovskaya O.Y., Balakshina V.I. The forming of productivity in spring barley varieties in the dry steppe zone of Volgograd Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2017;178(3):21-27. [in Russian] (Козубовская Г.В., Козубовская О.Ю., Балакшина В.И. Формирование продуктивности сортов ярового ячменя в сухостепной зоне Волгоградской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017;178(3):21-27). DOI: 10.30901/2227-8834-2017-3-21-27

Kurkaev V.T., Eroshkina S.M., Ponomarev A.A. Agricultural analysis and fundamentals of plant biochemistry (Selskokhozyaystvenny analiz i osnovy biokhimii rasteniy). Moscow: Kolos; 1977. [in Russian] (Куркаев В.Т., Ерошкина С.М, Понамарев А.А. Сельскохозяйственный анализ и основы биохимии растений. Москва: Колос; 1977).

Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoy kollektsii yachmenya i ovsa). St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).

Maksimov R.A. Studying the barley varieties of VIR world collection in the conditions of the Middle Urals. *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2015;74:141-144. [in Russian] (Максимов Р.А. Изучение сортообразцов ячменя мировой коллекции ВИР в условиях Среднего Урала. *АПК России*. 2015;74:141-144).

Popov A.S., Ovsyannikova G.V., Sukharev A.A., Dontsova A.A., Zelenskaya G.M., Lesnykh O.S. Grain productivity and quality of the facultative barley variety 'Marusya' when sowing in winter and spring. *Grain Economy of Russia*. 2021;3(75):69-74. [in Russian] (Попов А.С., Овсянникова Г.В., Сухарев А.А., Донцова А.А., Зеленская Г.М., Лесных О.С. Урожайность и качество зерна ячменя-двуручки сорта Маруся в озимом и яровом посевах. *Зерновое хозяйство России*. 2021;3(75):69-74). DOI: 10.31367/2079-8725-2021-75-3-69-74

Rushkovsky S.V. Guidelines for determining the quality of plant products for zonal agrochemical laboratories (Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu kachestva rastitelnoy produktsii dlya zonalnykh agrokhimicheskikh laboratoriy). Moscow: TsINAO; 1975. [in Russian] (Рушковский С.В. Методические указания по определению качества растительной продукции для зональных агрохимических лабораторий. Москва: ЦИНАО; 1975).

Shchennikova I.N., Kokina L.P. Perspectives of barley breeding for the conditions of the Volgo-Vyatka region (analytical review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(1):21-31. [in Russian] (Щенникова И.Н., Кокина Л.П. Перспективы селекции ячменя для условий Волго-Вятского региона (аналитический обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(1):21-31). DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.1.21-31

Sorokin O.D. Applied statistics on the computer. (Prikladnaya statistika na kompyutere). Novosibirsk; 2004. [in Russian] (Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Новосибирск; 2004).

State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow; Rosinformagrotech; 2023. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2023). URL: https://gossortrf.ru/publication/reestry.php [дата обращения: 15.02.2024].

Surin N.A., Lyakhova N.E. Culture of barley in Eastern Siberia. *The Bulletin of KrasGAU*. 2017;4(127):52-65. [in Russian] (Сурин Н.А., Ляхова Н.Е. Культура ячменя в Восточной Сибири. *Вестник КрасГАУ*. 2017;4(127):52-65).

Surin N.A., Lyakhova N.E., Gerasimov S.A., Lipshin A.G. Ecological breeding of barley in Central Siberia: monograph (Ekologicheskaya selektsiya yachmenya v Sredney Sibiri). Krasnoyarsk; 2023. [in Russian] (Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А., Липшин А.Г. Экологическая селекция ячменя в Средней Сибири: монография. Красноярск; 2023).

Surin N.A., Lyakhova N.E., Gerasimov S.A., Lipshin A.G. Realization of ideas N. I. Vavilov's ideas in the barley breeding in Siberia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(1):78-88. [in Russian] (Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А., Липшин А.Г. Реализация идей Н. И. Вавилова в селекции ячменя в Сибири. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(1):78-88). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-1-78-88

Surin N.A. Lyakhova N.E., Zobova N.V. Drought resistance potential of spring barley varieties bred in Krasnoyarsk. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2003;2(148):7-11. [in Russian] (Сурин Н.А. Ляхова Н.Е., Зобова Н.В. Потенциал засухоустойчивости сортов ярового ячменя красноярской селекции. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2003;2(148):7-11).

Tretyakov N.N., Yakovlev A.F. The effect of different lodging intensities on harvest formation sowing qualities of spring barley seeds. Biological fundamentals of a crop productiv-

ity increase (Vliyaniye razlichnoy intensivnosti poleganiya na formirovaniye urozhaya i posevnykh kachestv semyan yarovogo yachmenya. Biologicheskiye osnovy povysheniya produktivnosti selskokhozyaystvennykh kultur). Moscow: Timiryazev Agricultural Academy; 1984. [in Russian] (Третьяков Н.Н., Яковлев А.Ф. Влияние различной интенсивности полегания на формирование урожая и посевных качеств семян ярового ячменя. Биологические основы повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. Москва: Тимирязевская сельскохозяйственная академия; 1984).

Trofimovskaya A.Ya. Barley (evolution, classification and breeding) (Yachmen [evolyutsiya, klassifikatsiya, selektsiya]). Leningrad: Kolos, 1972. [in Russian] (Трофимовская А.Я. Ячмень (эволюция, классификация, селекция). Ленинград: Колос, 1972).

Zhilin N.A., Zaytseva I.Yu., Shchennikova I.N., Emelev S.A. Effectiveness of the barley cultivar 'Bios 1' as source material for breeding. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(2):96-100. [in Russian] (Жилин Н.А., Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н., Емелев С.А. Сорт 'Биос 1' как исходный материал для селекции ячменя. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(2):96-100). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-96-100

Zoning of crop cultivars and variety testing results for Tyumen Province in 2021 (Sortovoye rayonirovaniye selskokhozyaystvennykh kultur i rezultaty sortoispytaniya po Tyumenskoy oblasti za 2021 god). Tyumen: Akita; 2021. [in Russian] (Сортовое районирование сельскохозяйственных культур и результаты сортоиспытания по Тюменской области за 2021 год. Тюмень: Акита; 2021).

Информация об авторах

Мария Николаевна Фомина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, 625026 Россия, Тюмень ул. Малыгина, 86, maria_f72@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2923-9448

Юлия Семеновна Иванова, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, 625026 Россия, Тюмень ул. Малыгина, 86, averyasova-uliy@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3376-490X

Мария Владимировна Брагина, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, 625026 Россия, Тюмень ул. Малыгина, 86, masha.bragina22@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-3156-8574

Ольга Николаевна Ковалева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, o.kovaleva@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-3990-6526

Information about the authors

Maria N. Fomina, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, maria_f72@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2923-9448

Yulia S. Ivanova, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, averyasova-uliy@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3376-490X

Maria V. Bragina, Associate Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, masha.bragina22@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-3156-8574

Olga N. Kovaleva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, o.kovaleva@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-3990-6526

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 26.03.2024; одобрена после рецензирования 13.06.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 26.03.2024; approved after reviewing on 13.06.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья
УДК 633.852.52; 577.1
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-94-104

CC BY

Изучение биохимического состава образцов семян арахиса из коллекции ВИР

В. Д. Бемова[1], Т. В. Шеленга[1], М. Ш. Асфандиярова[2], Т. В. Якушева[3], Н. В. Кишлян[1]

[1] *Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия*

[2] *Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук, Астраханская область, Россия*

[3] *Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Кубанская опытная станция, Краснодарский край, Россия*

Автор, ответственный за переписку: Виктория Дмитриевна Бемова, viktoria.bemova@yandex.ru

Актуальность. Арахис – одна из важнейших масличных культур пищевого назначения. Натуральное арахисовое масло состоит в основном из двух ненасыщенных жирных кислот – олеиновой и линолевой, от соотношения которых зависит качество масла. Цель работы – выявление разнообразия содержания масла и его жирнокислотного состава у образцов арахиса коллекции ВИР, а также влияния почвенно-климатических и иных факторов на эти признаки, что актуально для получения новых высокомасличных сортов.
Материалы и методы. Изучены коллекционные образцы арахиса по содержанию масла и его жирнокислотному составу. Образцы репродуцировали в течение трех лет (2019–2021) в двух разных географических точках: в Краснодарском крае на Кубанской опытной станции – филиале ВИР (КОС ВИР) и Астраханской области в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре Российской академии наук (ПАФНЦ). В качестве стандарта использовали сорт ‘Отрадокубанский’. Для статистической обработки данных применяли двухфакторный дисперсионный анализ.
Результаты и обсуждение. Определено содержание 18 жирных кислот в масле арахиса, две из которых, олеиновая и линолевая, являются доминирующими. Содержание олеиновой кислоты зависит от генотипа на 42–53%, линолевой кислоты – на 50–71%; также на признак оказывают влияние место и год выращивания. Размах изменчивости за три года изучения содержания олеиновой и линолевой кислот: на КОС ВИР – 35,4–57,6% и 18,3–38,1%, в ПАФНЦ – 33,4–51,2% и 30,9–42,7% соответственно. Содержание масла на 81% зависит от генотипа и составляет 32,0–44,4%.

Ключевые слова: *Arachis hypogaea* L., жирнокислотный состав масла, олеиновая кислота, линолевая кислота

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0005 «Растительные ресурсы масличных и прядильных культур ВИР как основа теоретических исследований и их практического использования».
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Бемова В.Д., Шеленга Т.В., Асфандиярова М.Ш., Якушева Т.В., Кишлян Н.В. Изучение биохимического состава образцов арахиса коллекции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):94-104. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-94-104

© Бемова В.Д., Шеленга Т.В., Асфандиярова М.Ш., Якушева Т.В., Кишлян Н.В., 2024

COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-94-104

Studying the biochemical composition of peanut accessions from the VIR collection

Viktoria D. Bemova[1], Tatiana V. Shelenga[1], Minira Sh. Asfandiyarova[2], Tamara V. Yakusheva,[3] Natalya V. Kishlyan[1]

[1] *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia*

[2] *Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Astrakhan Province, Russia*

[3] *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Kuban Experiment Station, Krasnodar Territory, Russia*

Corresponding author: Viktoria D. Bemova, viktoria.bemova@yandex.ru

Background. Peanut is one of the most important oil crops for food purposes. Natural peanut butter contains two unsaturated fatty acids, oleic and linoleic, which make up to 80% of the total fatty acid content in peanut oil. The quality of oil depends on the ratio between these two acids. Analyzing the diversity of oil content and fatty acid composition in peanut accessions preserved at VIR and assessing the effect of soil, climate, and other factors on these characters is vital for the development of new peanut cultivars rich in oil.
Materials and methods. Peanut germplasm accessions were studied for their biochemical composition of fatty acids and the content of oil and protein. The accessions were reproduced for three years (2019–2021) at two ecogeographic locations: in Krasnodar Territory, and Astrakhan Province. Cv. 'Otradokubansky' was used as a reference. ANOVA was applied for statistical data processing.
Results and discussion. The percentage composition of 18 fatty acids was calculated in peanut oil, with oleic and linoleic acids dominating. The content of oleic acid depended on the genotype for 42–53%, and that of linoleic acid, for 50–71%. The latter was also influenced by the place and year of cultivation. The ranges of variation over the three years of studies in Krasnodar Territory were 35.4–57.6% for oleic acid, and 18.3–38.1% for linoleic acid, whereas in Astrakhan Province they were 33.4–51.2%, and 30.9–42.7%, respectively. Under unfavorable conditions, the content of oleic acid in peanut prevailed. The oil content depended on the genotype for 81%, and its percentage was 32.0–44.4%.

Keywords: *Arachis hypogaea* L., peanut oil, fatty acid composition, oleic and linoleic acids

Acknowledgements: the studies were conducted within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0005 "Plant resources of oil and fiber crops at VIR as the basis for theoretical research and their practical utilization".
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Bemova V.D., Shelenga T.V., Asfandiyarova M.Sh., Yakusheva T.V., Kishlyan N.V. Studying the biochemical composition of peanut accessions from the VIR collection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):94-104. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-94-104

Введение

Арахис во всем мире ценится как источник масла высокого качества. Натуральное арахисовое масло содержит две основные ненасыщенные жирные кислоты – олеиновую (36–67%) и линолевую (15–43%), которые составляют 80% от общего количества жирных кислот (Wang et al., 2015). Качество масла зависит от их соотношения. Высокоолеиновое масло уменьшает уровень холестерина за счет снижения уровня липопротеидов низкой плотности в крови (Grundy, 1986) и артериального давления (Terés et al., 2008), обладает более высокой стабильностью к окислению и прогоркании. Линолевая кислота незаменима для человека, она не может быть синтезирована и должна поступать в организм с пищей. Арахисовое масло с высоким содержанием линолевой кислоты подвержено окислению, что приводит к неприятному запаху, вкусу, уменьшению срока годности полученных на его основе продуктов питания и самого масла. Таким образом, в процессе селекции важно повышать содержание олеиновой кислоты и уменьшать долю линолевой. Остальные 20% жирных кислот представлены насыщенными и мононенасыщенными жирными кислотами. Их роль также велика для здорового питания человека (Crupkin, Zambelli, 2008).

Высокоолеиновые и высокомасличные сорта арахиса предпочтительны для масложировой промышленности, в то время как генотипы с низким содержанием масла – для пищевого производства продуктов с длительным сроком хранения (Wang et al., 2015).

На содержание масла и его состав влияют различные факторы. В масле бобов арахиса, развивающихся при более низких температурах, содержится больше ненасыщенных жирных кислот (Slack, Browse, 1984). Условия выращивания оказывают влияние на соотношение практически всех жирных кислот в масле, кроме лигноцериновой, эйкозеновой, бегеновой и арахиновой (Norden, 1987).

Цель настоящего исследования – выявить диапазон изменчивости содержания масла и его жирнокислотного состава у образцов арахиса коллекции ВИР для определения влияния почвенно-климатических факторов на хозяйственно ценные признаки и дальнейшего использования выявленных закономерностей при получении новых высокомасличных сортов арахиса с улучшенным качественным составом масла.

Материалы и методы исследования

Коллекционные образцы ВИР арахиса в течение трех лет (2019–2021) выращивали в двух географических точках: на Кубанской опытной станции – филиале ВИР (КОС ВИР, Краснодарский край) и в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН (ПАФНЦ, Астраханская обл.). Изучены содержание масла и его жирнокислотный состав у 16 образцов арахиса трех лет репродукции (2019–2021). В связи с разными почвенно-климатическими условиями выращивания важно показать влияние этих условий на биохимический состав образцов арахиса.

Погодные условия 2019–2021 гг. представлены на рисунке 1. Температура во все годы изучения на КОС ВИР и в ПАФНЦ была высокой, сумма эффективных температур за вегетационный период превышала среднемноголетние значения (более 3500°С). В 2019 г. среднемесячная температура была выше на КОС ВИР, а в 2020, 2021 г. – в ПАФНЦ. Климат на КОС ВИР умеренно континентальный, с жарким летом и малым количеством осадков, почва представляет собой слабо выщелоченный чернозем. Количество выпавших осадков во все годы исследования было выше на КОС ВИР. В ПАФНЦ климат резко континентальный, экстремально засушливый. Почвенный покров характеризуется низким плодородием, представлен светло-каштановыми почвами, выращивание осуществляется с применением капельного полива.

Содержание 18 жирных кислот (лауриновой, миристиновой, пальмитиновой, пальмитолеиновой, маргариновой, стеариновой, олеиновой, вакценовой, линолевой, линоленовой, арахиновой, эйкозеновой, бегеновой, докозадиеновой, лигноцериновой, нервоновой, церотиновой, монтановой) в масле арахиса определяли с помощью газовой хроматографии, сопряженной с масс-спектрометрией, на приборе Agilent 6850A (США). Метиловые эфиры жирных кислот разделяли на колонке Omegawax TM 250 (полиэтиленгликоль, 30,0 мкм, 250,00 мкм, 0,25 мкм; США) при нагревании от 170°С до 220°С со скоростью нагрева 3°С/мин; объем вводимой пробы составлял 0,5 мкл, скорость потока гелия – 1,5 мл/мин (Shelenga et al., 2020).

Результаты исследования

Диапазон изменчивости содержания жирных кислот в изученных 16 образцах арахиса, репродуцированных в двух географических точках – на КОС ВИР и в ПАФНЦ, за 2019–2021 гг. был следующий: лауриновая кислота С12:0 – 0,00–0,38%; миристиновая С14:0 – 0,00–1,41%; пальмитиновая С16:0 – 8,79–14,38%; пальмитолеиновая С16:1 – 0,01–0,12%; маргариновая С17:0 – 0,00–1,68%; стеариновая С18:0 – 1,49–6,29%; олеиновая С18:1 – 35,00–57,60%; вакценовая С18:1 – 0,29–1,75%; линолевая С18:2 – 18,28–42,73%; линоленовая С18:3 – 0,00–3,55%; арахиновая С20:0 – 0,77–2,29%; эйкозеновая С20:1 – 0,03–2,15%; бегеновая С22:0 – 0,03–5,05%; доказадиеновая С22:2 – 0,00–0,60%; лигноцериновая С24:0 – 0,00–1,76%; нервоновая С24:1 – 0,00–0,40%; церотиновая С26:0 – 0,00–0,16%; монтановая С28:0 – 0,01–0,18%.

Преобладание олеиновой и линолевой кислот было характерно для всех образцов арахиса (табл. 1). Для масла семян образцов, выращенных на КОС ВИР, установлено более высокое содержание олеиновой (35,35–57,60%) и низкое линолевой кислоты (18,28–38,10%). Для репродукций ПАФНЦ наблюдалась обратная тенденция: показатели олеиновой и линолевой кислот были в пределах 33,52–51,15% и 30,67–42,73% соответственно.

Содержание олеиновой и линолевой кислот варьировало у разных образцов в зависимости от года и места выращивания. Визуализация данных представлена на рисунке 2. Так, у всех образцов на КОС ВИР в 2019 и 2021 г. содержание олеиновой кислоты было выше, чем линолевой.

Также можно заметить взаимосвязь между уровнями содержания двух кислот: чем больше олеиновой кислоты, тем меньше линолевой, и наоборот.

Определенные образцы чаще демонстрировали высокое содержание олеиновой кислоты независимо от года и места выращивания, в связи с чем можно предположить существенную долю влияния генотипа образца на соотношение жирных кислот, что в дальнейшем было подтверждено с помощью статистического анализа.

Данные двухфакторного дисперсионного анализа, полученные для 16 коллекционных образцов арахиса КОС ВИР (2019–2021 гг.), показали, что доля влияния ге-

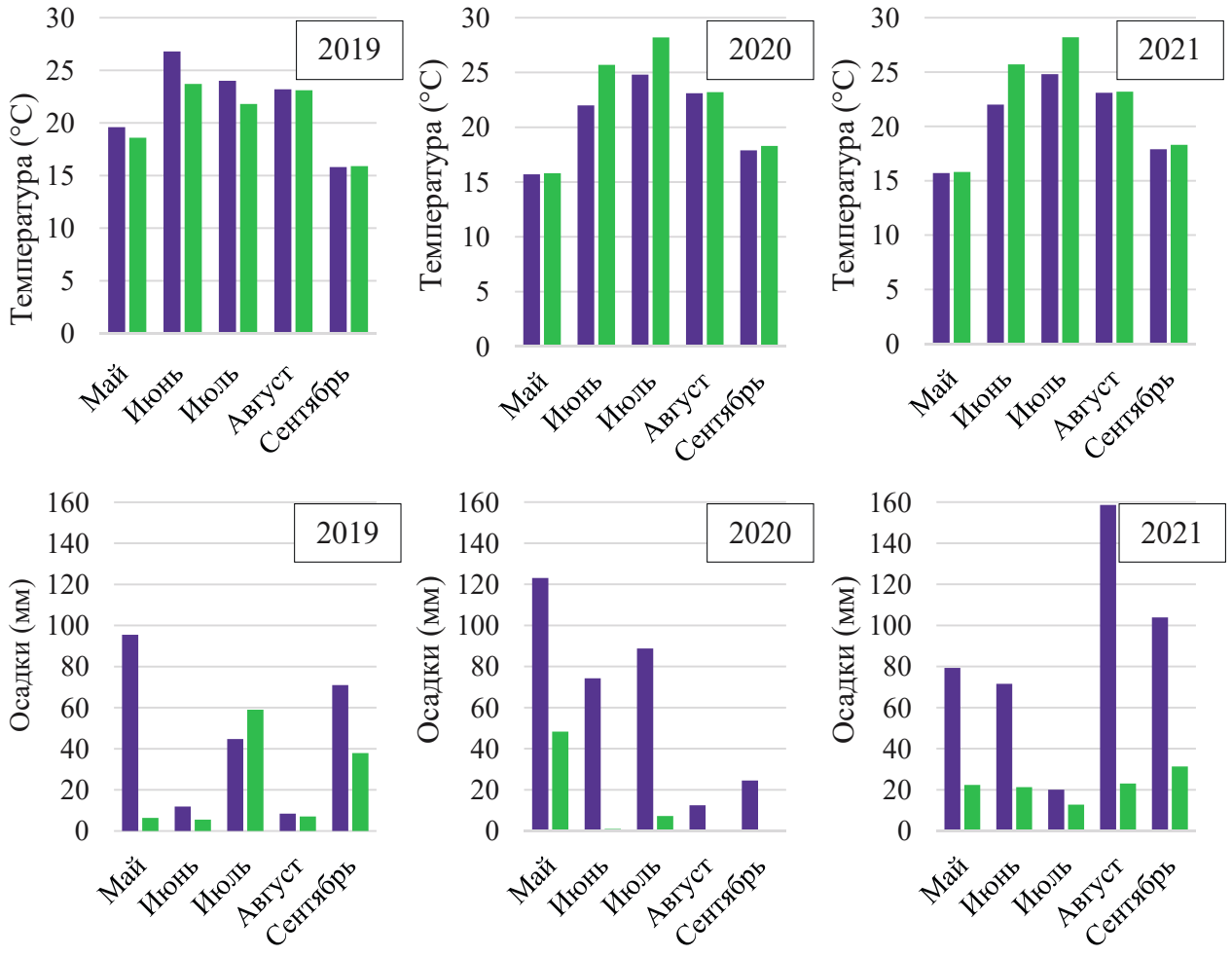


Рис. 1. Изменчивость температуры и осадков в период вегетации арахиса в 2019–2021 гг. на Кубанской опытной станции ВИР (фиолетовый) и в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН (зеленый)

Fig. 1. Temperature and precipitation variability during peanut growing seasons in 2019–2021 at the Kuban Experiment Station of VIR (purple), and the Caspian Agrarian Federal Research Center of the RAS (green)

нотипа на содержание олеиновой кислоты – 52,96%, условий года репродукции – 15,05%, неучтенных факторов – 31,98% (рис. 3). Изменчивость признака (содержание олеиновой кислоты) в масле семян составила 35,35–57,60%.

Доля влияния генотипа на содержание олеиновой кислоты у образцов арахиса в ПАФНЦ (2019–2021 гг.) – 42,76%, условий года – 15,73%, других факторов – 41,93% (см. рис. 3). Диапазон содержания за три года – 33,4–51,2%.

Доля влияния генотипа на содержание линолевой кислоты в масле арахиса на КОС ВИР за три года изучения составила 49,73%, условий года выращивания – 15,35%, других факторов – 34,92% (рис. 4). Варьирование содержания линолевой кислоты на КОС ВИР за три года – 18,3–38,1%.

Доля влияния генотипа образцов арахиса на содержание линолевой кислоты в ПАФНЦ (2019–2021 гг.) – 36,28%, условий года – 22,30%, других факторов – 41,41% (см. рис. 4). Варьирование содержания линолевой кислоты в ПАФНЦ за три года – 30,7–42,7%.

На основе трехлетнего изучения на КОС ВИР выделены источники высокого содержания олеиновой кислоты. Ниже приведены средние показатели за три года наблюдения. Наиболее высокие значения были установлены для образцов к-2012 №19940 (Россия) – 50,45%, к-793 'Десертный' (Россия) – 49,21%, которые были чуть выше или практически на уровне аналогичного параметра стандарта к-1987 'Отрадокубанский' (Россия) – 49,72%. Отдельную группу составляли образцы с показателями олеиновой кислоты в масле семян, приближающимися к стандартным: к-2013 №19828 (Россия) – 47,75%, к-168 (Западный Китай) – 46,8%, к-555 (Индия) – 45,78%, к-1547 (Мадагаскар) – 44,24%, к-1001 (Эквадор) – 44,22%, к-596 (Аргентина) – 43,97%.

Кроме олеиновой и линолевой кислот, в масле образцов арахиса представляют интерес еще две насыщенные кислоты: пальмитиновая и стеариновая. Их суммарное содержание достигало 15 и более процентов жирнокислотного состава масла арахиса. Варьирование содержания пальмитиновой кислоты за три года изучения составило: на КОС ВИР – 8,20–14,38%, в ПАФНЦ – 9,02–14,19%. Содержание стеариновой кислоты было ниже: на КОС ВИР – 1,26–6,29%, в ПАФНЦ – 1,52–5,08%. Более высокое содержание пальмитиновой и стеариновой кислот у образцов арахиса отмечали в 2020 г.

За три года самые высокие показатели пальмитиновой кислоты были отмечены у образцов к-168 (Западный Китай) – 10,74%, к-354 (Узбекистан) – 14,19%, к-793 'Десертный' (Россия) – 14,38%, стеариновой кислоты –

Таблица 1. Содержание олеиновой и линолевой кислот (%) у образцов арахиса за три года изучения
(Кубанская опытная станция ВИР и Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, 2019–2021 гг.)

Table 1. The content of oleic and linoleic acids (%) in peanut accessions across the three years of studies
(Kuban Experiment Station of VIR, and Caspian Agrarian Federal Research Center of the RAS, 2019–2021)

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Происхождение / Origin	КОС ВИР / KES VIR						ПАФНЦ / CAFRC					
		Олеиновая / Oleic (C18:1)			Линолевая / Linoleic (C18:2)			Олеиновая / Oleic (C18:1)			Линолевая / Linoleic (C18:2)		
		2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
168	Западный Китай	50,98	47,32	42,2	26,57	28,34	33,06	48,44	33,36	43,45	32,38	38,99	34,25
300	Трансвааль	44,12	37,06	39,10	36,43	37,00	35,97	37,74	33,52	40,42	40,17	40,00	35,50
317	Южная Родезия	37,75	40,42	37,98	30,81	33,78	36,94	38,50	40,42	38,22	40,98	33,78	37,14
354	Узбекистан	41,73	41,28	38,25	38,10	32,01	35,22	40,66	45,43	39,73	41,30	29,25	35,44
433	Сенегал	41,55	38,31	39,86	35,01	33,84	33,93	41,54	46,37	35,38	41,41	31,04	34,49
555	Индия	48,61	46,32	42,41	28,42	28,44	30,84	45,43	34,83	39,04	36,93	37,38	35,18
596	Аргентина	46,34	42,60	42,97	30,70	30,95	31,94	43,50	40,00	40,45	37,99	35,13	34,59
597	Канада	45,55	–	39,15	31,72	–	34,70	40,23	39,85	39,40	42,36	36,44	34,74
698	Марокко	46,96	57,60	40,83	28,35	18,28	33,96	39,78	42,11	37,78	42,73	31,39	36,54
793	Россия	53,27	47,38	46,99	26,39	26,21	28,63	51,15	45,35	41,42	31,73	30,89	33,76
1001	Эквадор	48,58	41,96	42,13	29,35	33,63	32,17	43,36	35,42	41,53	37,82	37,78	32,48
1533	Мадагаскар	46,22	35,35	41,99	31,32	37,62	33,83	44,71	36,94	42,14	37,47	36,96	33,05
1547	Мадагаскар	41,12	51,45	40,16	34,70	25,97	34,82	38,02	37,64	39,96	41,37	36,00	34,59
1987	Россия	51,96	54,58	42,62	29,17	18,78	33,41	47,16	40,24	41,97	34,49	36,48	34,20
2012	Россия	50,10	51,88	49,36	26,67	21,95	32,09	49,31	44,59	42,71	33,47	30,67	33,41
2013	Россия	48,65	45,76	48,83	28,62	29,65	32,95	50,23	41,44	44,17	32,68	32,10	32,09

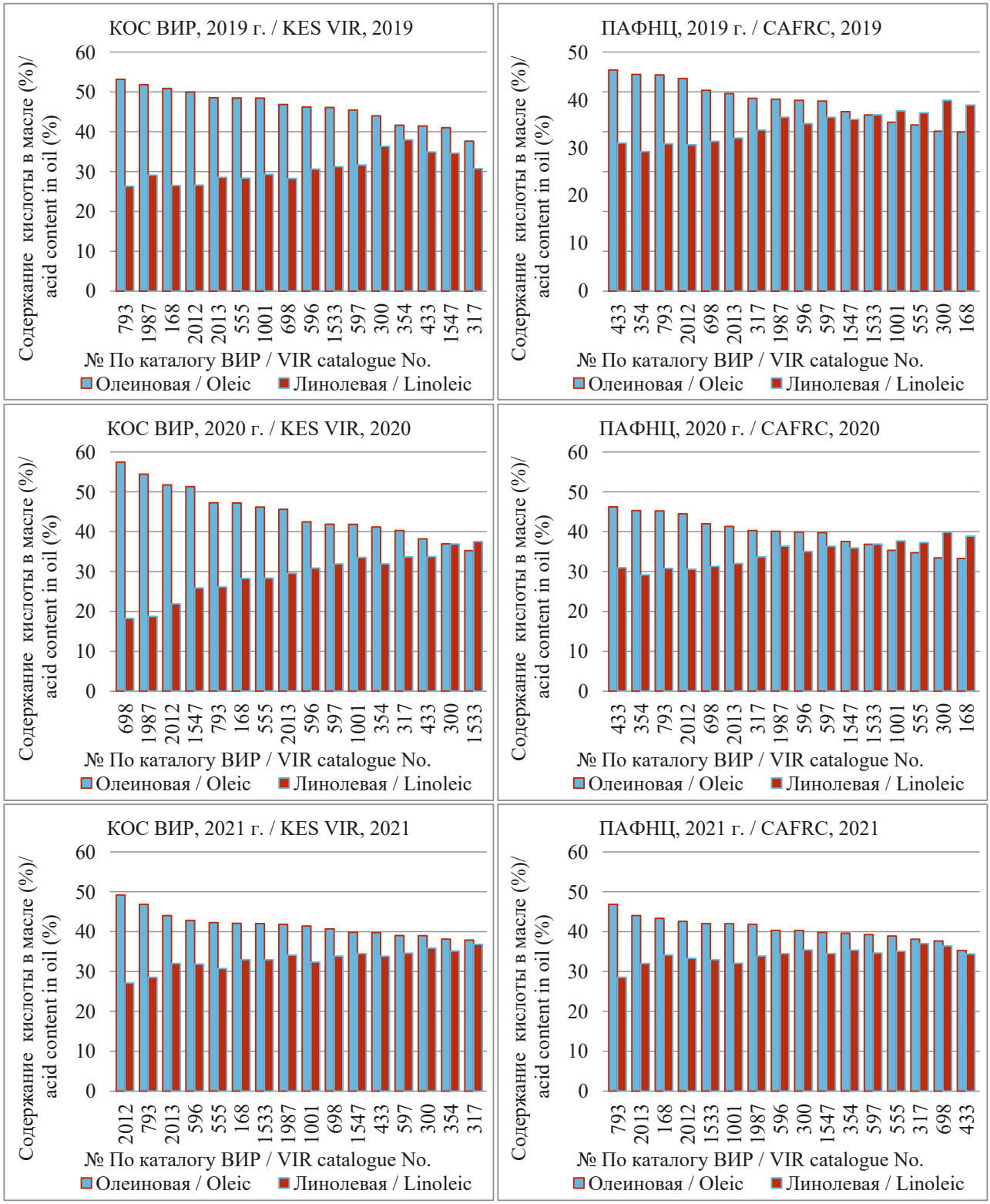


Рис. 2. Содержание олеиновой и линолевой кислот в образцах арахиса на Кубанской опытной станции ВИР и в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН в 2019–2021 гг.
(образцы ранжированы по убыванию содержания олеиновой кислоты)

Fig. 2. The content of oleic and linoleic acids in peanut accessions at the Kuban Experiment Station of VIR, and Caspian Agrarian Federal Research Center of the RAS, in 2019–2021
(accessions are ranked in descending order for oleic acid content)

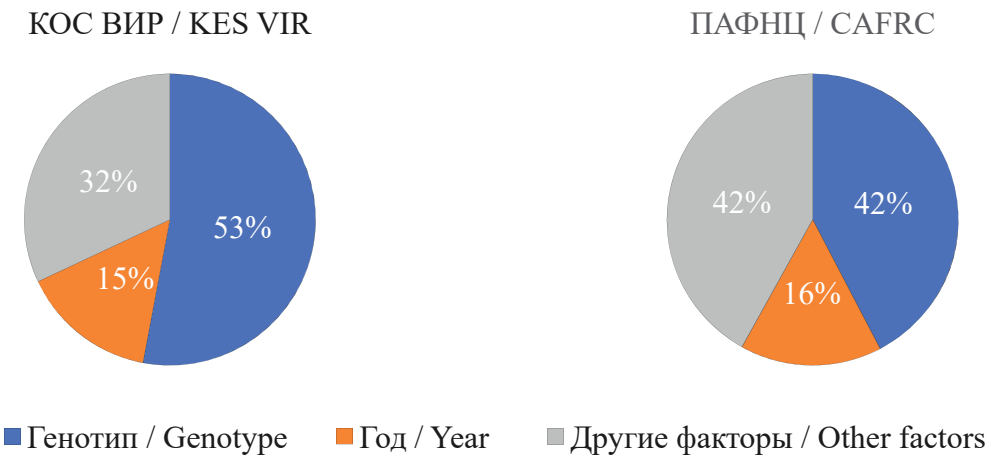


Рис. 3. Влияние генотипа, года и других факторов на содержание олеиновой кислоты в образцах арахиса на Кубанской опытной станции ВИР и в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН в 2019–2021 гг. (влияние достоверно при p ≤ 0,05)

Fig. 3. The effect of the genotype, year, and other factors on oleic acid content in peanut accessions at the Kuban Experiment Station of VIR, and Caspian Agrarian Federal Research Center of the RAS, in 2019–2021 (the effect is significant at $p \leq 0,05$)

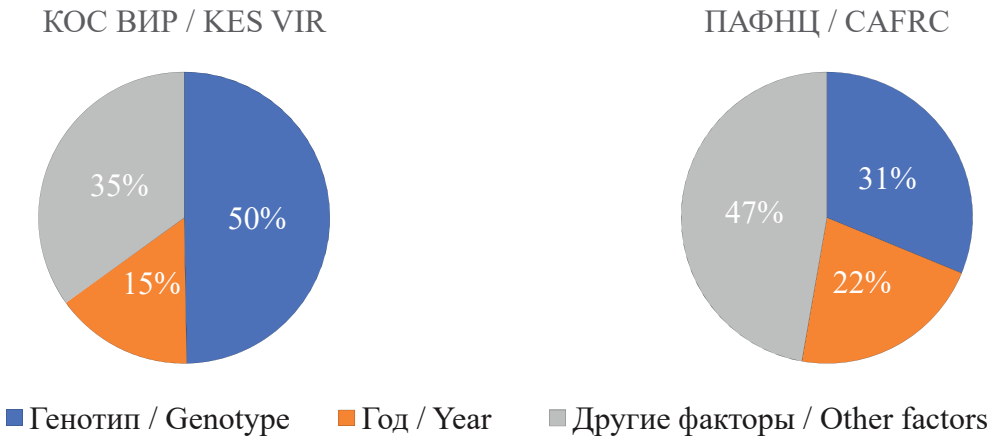


Рис. 4. Влияние генотипа, года и других факторов на содержание линолевой кислоты в образцах арахиса на Кубанской опытной станции ВИР и в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН в 2019–2021 гг. (влияние достоверно при p ≤ 0,05)

Fig. 4. The effect of the genotype, year, and other factors on linoleic acid content in peanut accessions at the Kuban Experiment Station of VIR, and Caspian Agrarian Federal Research Center of the RAS, in 2019–2021 (the effect is significant at $p \leq 0,05$)

у к-168 (Западный Китай) – 5,08%, к-433 (Сенегал) – 5,24%, к-698 (Марокко) – 6,29%, к-793 'Десертный' (Россия) – 5,40%.

Содержание масла в образцах арахиса представлено в таблице 2. На КОС ВИР содержание масла у арахиса в 2021 г. изменялось в диапазоне от 36,86 до 41,89%, в ПАФНЦ – от 31,99 до 44,36%. Высоким содержанием масла отличались образцы арахиса: к-433 (Сенегал) – 41,0%, к-596 (Аргентина) – 41,3%, к-597 (Канада) – 41,7%, к-793, 'Десертный' (Россия) – 41,6%, к-2012 (Россия) – 41,9% и к-2013 (Россия) – 42,5%. Для масла семян вышеперечисленных образцов было установлено высокое содержание олеиновой кислоты.

На основе двухфакторного дисперсионного анализа установили, что содержание масла в образцах арахиса, выращенных на КОС ВИР и в ПАФНЦ (репродукция 2021 г.), на 81% зависит от генотипа и на 19% – от места выращивания (рис. 5).

Таблица 2. Содержание масла в коллекционных образцах арахиса на Кубанской опытной станции ВИР и в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН в 2021 г.

Table 2. The content of oil in peanut accessions at the Kuban Experiment Station of VIR, and Caspian Agrarian Federal Research Center of the RAS, in 2021

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название / Name	Происхождение / Origin	Содержание масла / Oil content (%)	
			КОС ВИР / KES VIR	ПАФНЦ / CAFRC
168		Западный Китай	37,81	31,99
300	Virginia Bunch	Трансвааль	38,94	38,94
317		Южная Родезия	39,78	40,28
354	Улучшенный Испанский 0162	Узбекистан	39,36	39,61
433	Saloum dresse 47-43	Сенегал	41,00	40,03
555		Индия	37,24	39,17
596	Negro tipo 2 Parcela № 223 de coleccion Manfredi	Аргентина	41,40	40,84
597	Early Spanish 0833	Канада	42,18	40,13
698	Selection C.R.A. Issue de Cuba 15237	Марокко	39,38	39,77
793	‘Десертный’	Россия	40,16	42,32
1001	Star	Эквадор	38,71	41,79
1533	№278	Мадагаскар	37,42	33,16
1547	57-107	Мадагаскар	36,86	38,58
1987	‘Отрадокубанский’	Россия	40,42	40,64
2012	№19940	Россия	40,95	43,43
2013	№19828	Россия	41,89	44,36

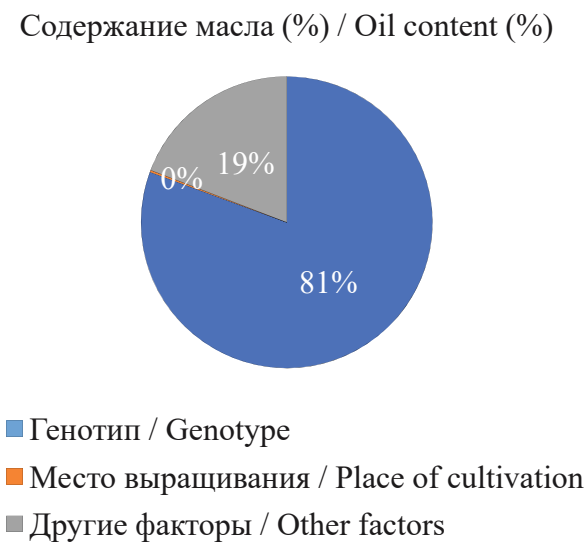


Рис. 5. Влияние генотипа и места выращивания на содержание масла в образцах арахиса в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН и на Кубанской опытной станции ВИР, репродукция 2021 г.
(влияние достоверно при $p \leq 0,05$)

Fig. 5. The effect of the genotype and the place of cultivation on oil content in peanut accessions at the Caspian Agrarian Federal Research Center of the RAS, and Kuban Experiment Station of VIR, reproduction of 2021
(the effect is significant at $p \leq 0,05$)

Обсуждение

На основе проведенного изучения содержания масла и его жирнокислотного состава 16 образцов арахиса, выращенных в двух географических точках (КОС ВИР, ПАФНЦ) в 2019–2021 гг., можно сделать следующие выводы.

Содержание олеиновой кислоты у образцов арахиса на КОС ВИР (35,35–57,60%) было выше, чем в ПАФНЦ (33,52–51,15%). Преобладающее влияние на этот признак в обеих точках оказывал генотип изученных образцов (КОС ВИР – 53%, ПАФНЦ – 43%).

Содержание линолевой кислоты за три года изучения было выше в ПАФНЦ (31,04–42,73%), чем на КОС ВИР (18,28–38,10%). Доля влияния генотипа на содержание линолевой кислоты на КОС ВИР – 50,73%, в ПАФНЦ – 36,28%.

В результате анализа полученных нами данных удалось установить влияние эколого-географических условий выращивания и генотипа образцов на содержание масла в семенах арахиса.

Из литературных источников известно, что на содержание жирных кислот в арахисовом масле влияют такие факторы, как генотип, температура воздуха и почвы, наличие влаги, состав почвы. В своих исследованиях M. J. Hinds (1995) показала, что более низкий уровень линолевой кислоты в семенах арахиса наблюдался из-за воздействия засухи и высокой температуры. Zhong Haiyan et al. (2007) продемонстрировали, что при более высоких уровнях температуры активность Δ12-десатуразы ингибируется, что приводит к снижению содержания линолевой кислоты. В нашем исследовании более высокие температуры в 2020–2021 гг. преобладали на ПАФНЦ, однако образцы продемонстрировали высокое содержание линолевой кислоты. Возможно, это связано с применением капельного полива, который свел к минимуму воздействие высокотемпературного стресса и недостатка влаги на растения и не дал ему возможности отразиться на жирнокислотном составе масла.

По мнению некоторых авторов (Burkey et al., 2007), на состав и качество семян арахиса, особенно на содержание жирных кислот, влияют климатические факторы и эффективность орошения (Ghannadzadeh et al., 2015). Известны опыты по выращиванию арахиса с биоугольными добавками, что позволило значительно, на 10–25%, увеличить масличность семян, при этом существенно, до 70%, повысив долю олеиновой кислоты. Это было связано с изменением структуры почвы, ее способности к удержанию и доступности влаги (Liu et al., 2024). По данным M. F. Seleiman et al. (2019), содержание масла и олеиновой кислоты может снижаться на 18% и 26% соответственно при сильном водном дефиците по сравнению с нормальными условиями.

На жирнокислотный состав может оказывать влияние время сбора урожая. С приближением периода созревания семян содержание стеариновой, олеиновой и линолевой кислот увеличивается до определенного момента, а затем начинает падать, тогда как количество полиненасыщенных жирных кислот, таких как линоленовая, уменьшается по мере созревания. Уровень накопления масла напрямую связан со степенью спелости семян арахиса (Salamatullah et al., 2021).

В исследовании Li Weilan et al. (2022) была выявлена взаимосвязь между морфометрическими характеристиками семян и жирнокислотным составом. Так, увеличение содержания олеиновой и снижение содержания линолевой кислоты коррелировало с увеличением массы 100 семян. Некоторые крупносемянные образцы в нашем исследовании также имели более высокое содержание олеиновой кислоты относительно мелкосемянных, независимо от места и года выращивания. Это говорит о существенной доле влияния генотипа на изучаемые признаки.

Зависимость содержания олеиновой и линолевой кислот объясняется этапами их синтеза: в зародышевой плазме арахиса пальмитоил-КоА удлиняется до стеароил-КоА с образованием олеиновой кислоты. Затем под действием олеоилфосфатидилхолиндесатуразы (Δ12-десатуразы) происходит синтез линолевой кислоты из олеиновой (Andersen, Gorbet, 2002). Эта закономерность хорошо прослеживается у изученных нами образцов: чем выше содержание олеиновой кислоты, тем меньше содержание линолевой, так как уменьшается доля преобразования олеиновой кислоты в линолевую.

Содержание масла в образцах арахиса, по данным нашего исследования, составило от 32 до 44%; оно на 81% зависит от генотипа и на 19% – от места выращивания. По данным изучения Е. Н. Иваненко и Т. Е. Вахрушевой коллекционных образцов арахиса репродукции 1983–1986 гг., выращенного в условиях бывшего Среднеазиатского филиала ВИР в Ташкентской области Узбекистана, выделялись образцы с более высоким содержанием масла – до 52,8% (Ivanenko, Vakhrusheva, 1987). Содержание масла в семенах арахиса может достигать 45–57%, белка – до 30% (Ivanenko, 1989). По данным А. И. Ермакова с соавторами (Ermakov et al., 1982), содержание олеиновой и линолевой кислот у образцов арахиса, репродуцированных в Среднеазиатском филиале ВИР, составляло до 40,5–44,8% и 41,3–42,7% соответственно, а содержание масла – до 54,6%. Таким образом, условия Среднеазиатского филиала ВИР способствовали более высокой масличности семян.

По результатам нашего изучения для образцов арахиса с высоким содержанием масла (41–44%) были характерны также высокие значения олеиновой кислоты: к-793 ‘Десертный’ (Россия) – 49,21%, к-2012 №19940 (Россия) – 50,45%, к-2013 №19828 (Россия) – 47,75%, к-1987 ‘Отрадокубанский’ (Россия) – 49,72%.

Таким образом, на содержание масла семян арахиса и его жирнокислотный состав влияют многие факторы: генотип образца, почвенно-климатические особенности места выращивания, год репродукции.

Заключение

По результатам изучения содержания масла и его жирнокислотного состава у 16 коллекционных образцов арахиса, выращенных в двух разных эколого-географических точках (КОС ВИР, Краснодарский край, и ПАФНЦ, Астраханская обл.) в 2019–2021 гг., установлено, что доминирующими кислотами являются олеиновая и линолевая: их доля составляет 80% жирнокислотного состава масла арахиса. Выявлено влияние генотипа, года и места выращивания на содержание масла и его состав. Показан размах изменчивости этих признаков. Доля влияния генотипа на содержание олеиновой кислоты у образцов репродукции КОС ВИР составила 53%, ПАФНЦ – 42%; содержание линолевой кислоты при репродукции арахиса на КОС ВИР – 50,73%, ПАФНЦ – 36,28%. Содержание масла в образцах арахиса на 81% зависит от генотипа. На основе трехлетнего изучения выделены источники высокого содержания масла и олеиновой кислоты: к-597 (Канада),

к-793 'Десертный' (Россия), к-2012 №19940 (Россия), к-2013 №19828 (Россия).

References / Литература.

Andersen P.C., Gorbet D.W. Influence of year and planting date on fatty acid chemistry of high oleic and normal peanut genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2002;50(5);1298-1305. DOI: 10.1021/jf0113171

Burkey K.O., Booker F.L., Pursley W.A., Heagle A.S. Elevated carbon dioxide and ozone effects on peanut: II. Seed yield and quality. *Crop Science*. 2007;47(4);1488-1497. DOI: 10.2135/cropsci2006.08.0538

Cherif A.O., Pepe C., Messaouda M.B. Fatty acids profile of wild and cultivar Tunisian peanut oilseeds (*A. hypogaea* L.) at different developmental stages. *Journal of Oleo Science*. 2023;72(4);379-387. DOI: 10.5650/jos.ess22400

Crupkin M., Zambelli A. Detrimental impact of trans-fats on human health: stearic acid-rich fats as possible substitutes. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2008;7(3):271-279. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2008.00045.x

Ermakov A.I., Davidyan G.G., Yarosh N.P., Rykova R.P., Anashchenko A.V., Lemeshev N.K., Megorskaya O.M. Catalogue of the VIR global collection. Issue 337. Oil crops. Characters of oil quality according to fatty acids content. (Maslichnye kultury. Kharakteristika kachestva masla po soderzhaniyu zhirnykh kislot). Leningrad: VIR; 1982. [in Russian] (Ермаков А.И., Давидян Г.Г., Ярош Н.П., Рыкова Р.П., Анащенко А.В., Лемешев Н.К., Мегорская О.М. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 337. Масличные культуры. Характеристика качества масла по содержанию жирных кислот. Ленинград: ВИР; 1982).

Ghannadzadeh M.A., Faridhosseini A., Alizadeh A., Amiri E. The effect of irrigation regime and nitrogen fertilizer on seed yield and qualitative characteristics of peanut (*Arachis hypogaea* L) (case study of Gilan Province, Iran). *Agricultural and Food Sciences*. 2015;21(4);1-8.

Grundy S.M. Comparison of monounsaturated fatty acids and carbohydrates for lowering plasma cholesterol. *The New England Journal of Medicin*e. 1986;314(12):745-748. DOI: 10.1056/nejm198603203141204

Hinds M.J. Fatty acid composition of Caribbean-grown peanuts (*Arachis hypogaea* L.) at three maturity stages. *Food Chemistry*. 1995;53(1);7-14. DOI: 10.1016/0308-8146(95)95779-6

Ivanenko E.N. Peanuts are a promising oil crop. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding.* 1989;125:31-35. [in Russian] (Иваненко Е.Н. Арахис – перспективная масличная культура. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1989;125:31-35).

Ivanenko E.N., Vakhrusheva T.E. Study of new samples of peanuts by economically valuable traits. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1987;113:77-82. [in Russian] (Иваненко Е.Н., Вахрушева Т.Е. Изучение новых образцов арахиса по хозяйственно ценным признакам. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1987;113:77-82).

Li W., Yoo E., Lee S., Sung J., Noh H.J., Hwang S.J. et al. Seed weight and genotype influence the total oil content and fatty acid composition of peanut seeds. *Foods*. 2022;11(21);3463. DOI: 10.3390/foods11213463

Liu C., Tian J., Chen L., He Q., Liu X., Bian R. et al. Biochar boosted high oleic peanut production with enhanced root development and biological N fixation by diazotrophs in a sand-loamy Primisol. *Science of the Total Environment*. 2024;932;173061. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.173061

Norden A.J., Gorbet D.W., Knauft D.A., Young C.T. Variability in oil quality among peanut genotypes in the Florida breeding program. *Peanut Science*. 1987;14(1):7-11. DOI: 10.3146/i0095-3679-14-1-3

Salamatullah A.M., Alkaltham M.S., Özcan M.M., Uslu N., Hayat K. Effect of maturing stages on bioactive properties, fatty acid compositions, and phenolic compounds of peanut (*Arachis hypogaea* L.) kernels harvested at different harvest times. *Journal of Oleo Science*. 2021;70(4);471-478. DOI: 10.5650/jos.ess20320

Seleiman M.F., Refay Y., Al-Suhaibani N., AI-Ashkar I., EI-Hendawy S., Hafez E.M. Integrative effects of rice-straw biochar and silicon on oil and seed quality, yield and physiological traits of *Helianthus annuus* L. grown under water deficit stress. *Agronomy*. 2019;9(10);637. DOI: 10.3390/agronomy9100637

Shelenga T.V.; Piskunova T.M.; Malyshev L.L.; Taipakova A.A.; Solovyeva A.E. Seed oil biochemical composition of cultivated *Cucurbita* L. species from the VIR collections grown in the Astrakhan Province of the Russian Federation. *Agronomy*. 2020,10(10);1491. DOI: 10.3390/agronomy10101491

Slack S.R., Browse J.A. Synthesis of storage lipids in developing seeds. In: D.R. Murray (ed.). *Seed Physiology. Vol. 1: Development*. Sydney: Academic Press; 1984. p.209-244.

Terés S., Barceló-Coblijn G., Benet M., Álvarez R., Bressani R., Halver J.E. et al. Oleic acid content is responsible for the reduction in blood pressure induced by olive oil. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2008;105(37):13811-13816. DOI: 10.1073/pnas.0807500105

Wang M.L., Khera P., Pandey M.K., Wang H., Qiao L., Feng S. et al. Genetic mapping of QTLs controlling fatty acids provided insights into the genetic control of fatty acid synthesis pathway in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *PLoS One*. 2015;10(4):e0119454. DOI: 10.1371/journal.pone.0119454

Zhong H., Bedgood Jr. D.R., Bishop A.G., Prenzler P.D., Robards K. Endogenous biophenol, fatty acid and volatile profiles of selected oils. *Food Chemistry*. 2007;100(4);1544-1551. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.12.039

Информация об авторах

Виктория Дмитриевна Бемова, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, viktoria.bemova@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-9574-0356

Татьяна Васильевна Шеленга, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, tatianashelenga@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-3992-5353

Минира Шаймардановна Асфандиярова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук, 416251 Россия, Астраханская обл., Черноярский р-н, с. Соленое Займище, квартал Северный, 8, rtuz@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-3801-3734

Тамара Владимировна Якушева, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Кубанская опытная станция – филиал ВИР, 352183 Россия, Краснодарский край, Гулькевичский район, п. Ботаника, ул. Центральная, 2, kos-vir@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-2661-2377

Наталья Васильевна Кишлян, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, natalya-kishlyan@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-4454-6948

Information about the authors

Viktoria D. Bemova, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, viktoria.bemova@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-9574-0356

Tatiana V. Shelenga, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, tatianashelenga@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-3992-5353

Minira Sh. Asfandiyarova, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 8 Severny Block, Solenoe Zaimishche, Chernoyarsky District, Astrakhan Province 416251, Russia, rtuz@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-3801-3734

Tamara V. Yakusheva, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Kuban Experiment Station – branch of VIR, 2 Tsentralnaya St., Krasnodar 352183, Russia, kos-vir@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-2661-2377

Natalya V. Kishlyan, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, natalya-kishlyan@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-4454-6948

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.07.2024; одобрена после рецензирования 08.08.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 05.07.2024; approved after reviewing on 08.08.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья
УДК 633.34:581.543(470.311)
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-105-119

CC BY

Изучение коллекционных образцов овса различных экологических групп в условиях степной зоны Краснодарского края

Н. П. Войцуцкая[1], И. Г. Лоскутов[2, 3], Е. В. Блинова[2], Л. Ю. Новикова[2]

[1] Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Кубанская опытная станция – филиал ВИР, Краснодарский край, Россия

[2] Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

[3] Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Нина Петровна Войцуцкая, voycuckaya63@mail.ru

Актуальность. Большое значение для селекции растений при подборе исходного материала имеет изучение генофонда и выявление источников хозяйственно ценных признаков для конкретных условий зоны.
Материалы и методы. Объектом исследований послужили 307 образцов овса посевного различного эколого-географического происхождения в условиях Кубанской опытной станции – филиала Всероссийского института генетических ресурсов растений (ВИР) в 2014–2019 гг. В качестве стандарта использовался сорт ‘Валдин 765’. Погодные условия за годы изучения были контрастными по гидротермическому режиму.
Результаты. Проведен анализ межсортовой и межгодовой вариабельности коллекции овса ВИР в условиях Краснодарского края и выделены перспективные по комплексу хозяйственно ценных признаков образцы для использования в селекции. Наиболее значительные различия образцов изученной коллекции овса связаны со сроками созревания и характеристиками метелки. Высокая урожайность образца в условиях Краснодарского края ассоциирована с высокой массой 1000 зерен, которая положительно связана с продолжительностью межфазного периода «выметывание – созревание» и отрицательно – с длиной метелки, числом зерен в метелке, высотой растения и продолжительностью периодов «всходы – выметывание» и «всходы – созревание».
Заключение. В результате исследований по хозяйственно ценным признакам выделены образцы, превышающие урожайность стандартного сорта ‘Валдин 765’ на 114–135%, созревающие на 6–8 дней раньше стандарта, устойчивые к полеганию, обладающие короткостебельностью, с групповой устойчивостью (9 баллов) к корончатой и стеблевой ржавчинам, с пониженной пленчатостью (< 25%), хорошей облиственностью, высокой масличностью (> 6%), повышенной белковостью (> 14%) и высокими показателями структурных элементов урожайности.

Ключевые слова: селекционные признаки, источники, эколого-географическое происхождение, погодные условия, изменение климата

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Войцуцкая Н.П., Лоскутов И.Г., Блинова Е.В., Новикова Л.Ю. Изучение коллекционных образцов овса различных экологических групп в условиях степной зоны Краснодарского края. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):105-119. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-105-119

© Войцуцкая Н.П., Лоскутов И.Г., Блинова Е.В., Новикова Л.Ю., 2024

COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-105-119

Evaluation of oat accessions from different ecological groups in the steppe environments of Krasnodar Territory

Nina P. Voytsutskaya[1], Igor G. Loskutov[2, 3], Elena V. Blinova[2], Liubov Yu. Novikova[2]

[1] N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Kuban Experiment Station, Krasnodar Territory, Russia

[2] N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

[3] St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Nina P. Voytsutskaya, voycuckaya63@mail.ru

Background. Studying genetic diversity and identifying sources of valuable agronomic traits for specific environmental conditions is of great importance for plant breeders when they select source material for crop improvement.
Materials and methods. Three hundred and seven oat accessions of various ecogeographic origin were tested under the conditions of the Kuban Experiment Station, a branch of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), in 2014–2019. Cv. 'Valdin 765' served as the reference. Weather conditions across the years of the study were contrasting in terms of the hydrothermal regime.
Results. The inter-cultivar and year-to-year variability of the oat collection was analyzed in Krasnodar Territory and accessions promising for breeding were identified for a set of useful agronomic traits. The most significant differences among the studied oat accessions were recorded for the time of ripening and panicle characteristics. High yield of an accession under the conditions of Krasnodar Territory was associated with its high 1000 grain weight, which positively correlated with the duration of the period from panicle emergence to ripening and negatively with the length of the panicle, number of grains per panicle, plant height, and duration of the periods from germination to panicle emergence and from germination to ripening.
Conclusion. The study of useful agronomic traits resulted in identifying oat accessions with the yield exceeding the reference (cv. 'Valdin 765') by 114–135%, that ripened 6–8 days earlier than the reference, were resistant to lodging, had short stems, manifested combined resistance (9 points) to crown and stem rust, low filminess (< 25%), good leafiness, high oil content (> 6%), increased protein content (> 14%), and high levels of yield structure components.

Keywords: valuable characteristics, sources, ecogeographic origin, weather conditions, climate change

Acknowledgments: this work was carried out within the framework of the state task assigned by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Topic No. FGEM-2022-0009 "Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production".
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Voytsutskaya N.P., Loskutov I.G., Blinova E.V., Novikova L.Yu. Evaluation of oat accessions from different ecological groups in the steppe environments of Krasnodar Territory. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):105-119. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-105-119

Введение

Большое значение для селекции растений при подборе исходного материала имеет изучение биологических и хозяйственных особенностей растений различного эколого-географического происхождения. В современных условиях целесообразным и экономически обоснованным направлением селекции является получение сортов для конкретных условий региона (Korelina et al., 2021).

Необходимо иметь характеристику растительных форм, выращенных в различных почвенно-климатических условиях, по таким признакам, как продолжительность вегетационного периода, урожайность и ее структура, устойчивость к полеганию, засухоустойчивость, устойчивость к болезням и вредителям, биохимический состав. По названным и другим биологическим особенностям можно определить как сходства, так и различия растений с использованием эколого-географической классификации.

Академик Н. И. Вавилов (Vavilov, 1965), как основатель эколого-географической систематики культурных растений, выявил закономерности в распределении видов по эколого-географическим группам, каждая из которых имеет сходные признаки в результате отбора в одинаковых природно-климатических условиях. Такие сорта обладают необходимыми приспособительными свойствами к тем условиям, в которых они формируются. Широкое распространение культуры овса на всех континентах мира, на разных высотах и в различных почвенно-климатических условиях, а также давность возделывания его с применением различных методов селекции способствовали образованию различных экологических типов с большой вариацией хозяйственных и биологических признаков (Loskutov, 2007).

На основании проведенного эколого-географического изучения мирового разнообразия овса, привезенного экспедициями ВИР из различных почвенно-климатических зон, А. И. Мордвинкина (Mordvinkina, 1939) осуществила эколого-географическую классификацию этой культуры. Были установлены экологические группы, сформировавшиеся в различных условиях местообитания (всего 30 географических групп и 13 подгрупп). Для образцов вида *Avena sativa* L. определены основные экологические группы: Северная русская[1], Волжская полбяная, Степная, Лесостепная европейская, Карпатская горная, Закавказская высокогорная, Дагестано-Азербайджанская предгорная, Восточно-Сибирская, Западно-Сибирская степная, Дальневосточная приморская, Скандинавская, Английская, Датская, Низинная Западно-Европейская, Южно-Европейская, Западно-Европейская «озимая», Альпийско-Тирольская, Центрально-Испанская, Пиренейская, Анатолийская внутренняя, Анатолийская юго-восточная, Субтропическая влажная, Иранская, Китайско-Монгольская (Mordvinkina, 1939). На основании изучения вновь поступившего в коллекцию ВИР материала были выделены еще три экологические группы овса посевного: Северо-Американская[2], Южно-Американская и Австралийская (Rodionova et al., 1994).

Для экологической классификации овса установлены основные признаки: образ жизни, продолжительность вегетационного периода, общий габитус растений, количественные признаки метелки и зерна, биохимические показатели, облиственность, требования к условиям среды, устойчивость к болезням и вредителям.

Экологические группы сортов, формирование которых проходит в определенных условиях различных экологических зон, несут приспособительные свойства к местной среде, что делает их ценным исходным материалом для селекции. Экологическая группировка сортов важна для селекции, так как дает возможность более эффективно находить исходный материал с определенными признаками среди большого многообразия культурных растений. Изучение генофонда культуры позволяет выделить источники, необходимые в работе селекционера, и определить параметры модели сорта в соответствии с условиями конкретной зоны произрастания (Tulyakova et al., 2021).

В условиях изменения климата оценка потенциала культуры, ее биоразнообразия приобретает особое значение для задач селекции. С ростом температур и нестабильности осадков в регионах могут стать востребованными образцы с новыми комплексами характеристик: со скороспелостью, с повышенной засухоустойчивостью и жаростойкостью (Elsgaard et al., 2012; Kole, 2020; Eckardt et al., 2021). И искать источники этих признаков необходимо в хорошо охарактеризованных коллекциях генетических ресурсов растений (Winkler et al., 2016; Loskutov et al., 2020).

Целью нашего исследования является проведение анализа межсортовой и межгодовой вариабельности коллекции овса ВИР в условиях Краснодарского края и выявление источников хозяйственно ценных признаков образцов овса различного эколого-географического происхождения.

Материалы и методы исследований

В 2014–2019 гг. на полях Кубанской опытной станции – филиала Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) было изучено 307 образцов овса коллекции ВИР различного эколого-географического происхождения из 32 стран. Закладку опытов, фенологические наблюдения, полевые учеты проводили в соответствии с «Методическими указаниями по изучению мировой коллекции ячменя и овса» (Loskutov et al., 2012), а также руководствуясь «Международным классификатором СЭВ рода *Avena* L.» (International COMECON list..., 1984). Почва экспериментального поля – слабовыщелоченный чернозем, сформированный на карбонатном суглинке. Предшественник овса – горох на зерно. Площадь делянки составляла 2 м^2.

На основе данных метеопункта Кубанской опытной станции исследованы агрометеорологические факторы, лимитирующие урожайность стандартного сорта овса ‘Валдин 765’ в 1998–2019 гг.

Статистическая обработка произведена методами дисперсионного, корреляционного анализа, методом главных компонент в пакете Statistica 13.3.

Расчет дат устойчивого перехода температур и характеристик периодов между ними выполнен в программе VTS, разработанной в отделе агрометеорологии ВИР (свидетельство о государственной регистра-

[1] Редакция обращает внимание на то, что написание всех эколого-географических групп по решению авторов приведено по работе А. И. Мордвинкиной (Mordvinkina, 1939).

[2] Редакция обращает внимание на то, что написание трех перечисленных эколого-географических групп по решению авторов приведено по работе Н. А. Родионовой (Rodionova et al., 1994).

ции № 2019664805 от 13 ноября 2019 г.). В исследовании принят уровень значимости 5%.

Погодные условия эксперимента

Климат Краснодарского края умеренно континентальный, в последние десятилетия (1990–2021 гг.) характеризуется суммой активных температур 3620°С, суммой осадков за период активной вегетации 380 мм, ГТК 1,1. В настоящее время наблюдается потепление климата: в 1990–2021 гг. увеличивались суммы активных температур выше 10°С (со скоростью 16,49°С/год, уровень значимости тренда p = 0,001), температура мая (0,09°С/год, p = 0,010), июня (0,09°С/год, p = 0,002), августа (0,11°С/год, p = 0,001), сентября (0,08°С/год, p = 0,026) (приведены только характеристики периода активной вегетации). Тренды сумм месячных осадков были недостоверны, разнонаправлены, сумма осадков достоверно менялась – увеличивалась – только за период с температурами выше 20°С (2,84 мм/год, p = 0,043). ГТК достоверных трендов не имел.

Наиболее теплым из исследованных лет был 2018 г. (рис. 1), когда сумма активных температур составила 4011°С, самым холодным – 2015 г. (3584°С), в остальные годы – 3609–3829°С; в 4 года из 6 анализируемых сумма активных температур была выше нормы. Наиболее влажным был 2016 г., когда сумма осадков за период с температурами выше 10°С достигла 490 мм, ГТК 1,337, а самым засушливым – 2019 г. с суммой осадков 291 мм и ГТК 0,760.

Метеорологические условия различались по температуре и количеству выпавших осадков. Обилием влаги и невысокими температурами отличались 2014 и 2017 г. Повышенными температурами и неравномерным выпадением осадков был отмечен 2015 г. – неустойчивое распределение дождей в сочетании с высокой температурой воздуха с суховеями во второй половине лета способствовало плохому наливу зерна. Условия 2016 г. характеризовались повышенным температурным фоном в течение весенне-летнего периода и большим количеством осадков – их выпало 448 мм при среднемноголетней норме 331 мм. Дожди часто выпадали в сопровождении сильного ветра. Условия вегетации были благоприятными для оценки изучаемого материала на устойчивость к полеганию и устойчивость к корончатой и стеблевой ржавчинам. В 2018 и 2019 г. наблюдалась высокая температура воздуха, низкая относительная влажность, осадки значительно ниже нормы, суховеи. Налив зерна проходил в условиях сухой жаркой погоды, что привело к резкому снижению выполненности зерна.

Таким образом, различия метеорологических условий 2014–2019 гг. позволили всесторонне изучить и выделить ценные источники овса по ряду хозяйственно ценных признаков для селекционной работы в условиях степной зоны Краснодарского края.

Результаты и их обсуждение

Межгодовая вариабельность хозяйственно ценных признаков овса

На рисунке 2 показаны медианное, минимальное, максимальное, квартильные значения по исследованной выборке. В среднем урожайность выборки составила в эксперименте 537,1 г/м^2, варьируя в зависимости от условий года от 441,9 до 650,5 г; масса 1000 зерен – 28,9 г (27,4–34,4 г); пленчатость составила 29,5% (24,3–32,8%); продолжительность вегетации («всходы – восковая спелость») – 56,4 сут. (45,1–71,6 сут.). Во все годы отмечено полегание образцов, устойчивость в среднем составила 6,4 балла (3,2–8,2 балла), наибольшее полегание наблюдалось в самом влажном 2016 г. Во все годы, кроме самого жаркого 2018 г., наблюдалось поражение корончатой и стеблевой ржавчинами. Устойчивость к корончатой ржавчине составила в среднем 6,8 балла, варьируя по годам от 5,4 до 7,7 балла, устойчивость к стеблевой ржавчине имела близкие значения. В 2018 и 2019 г. отмечено поражение пьявицей, устойчивость в среднем составила 5,3–5,4 балла.

Однофакторный дисперсионный анализ показал, что условия возделывания оказали достоверное влияние на большинство средних значений изученных показателей коллекции овса, за исключением устойчивости к поражению пьявицей и облиственности. Рассчитаны средние

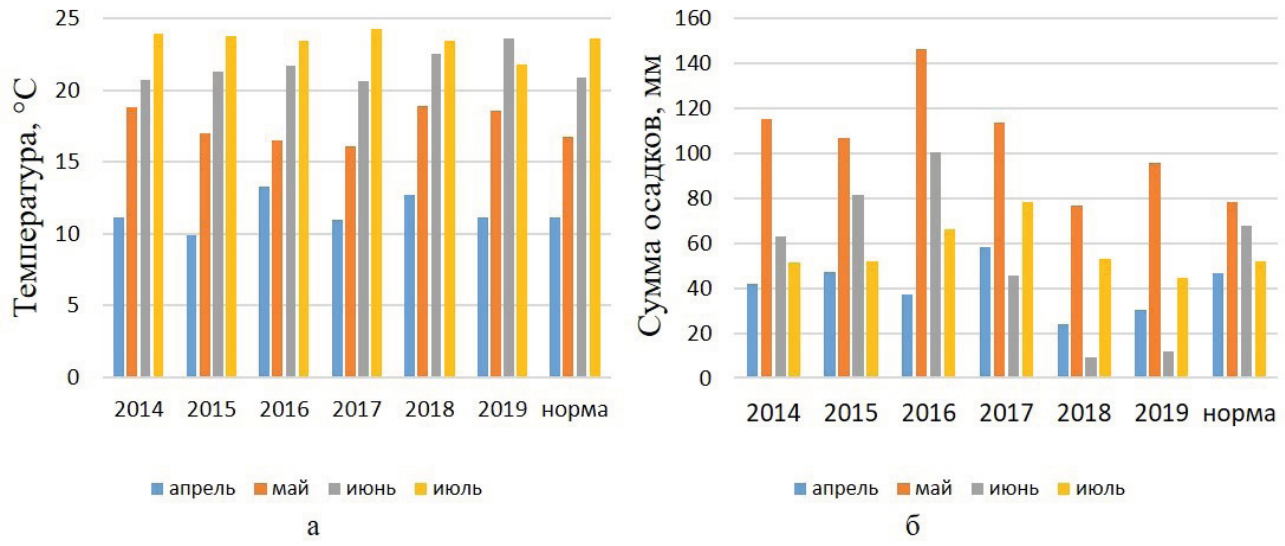


Рис. 1. Метеорологические условия в годы проведения эксперимента: а) среднемесячная температура; б) месячная сумма осадков; норма – средние значения за 1990–2021 гг.

Fig. 1. Weather conditions during the years of the experiment: a) mean monthly temperature; б) monthly precipitation amount; "норма" – mean values for 1990–2021

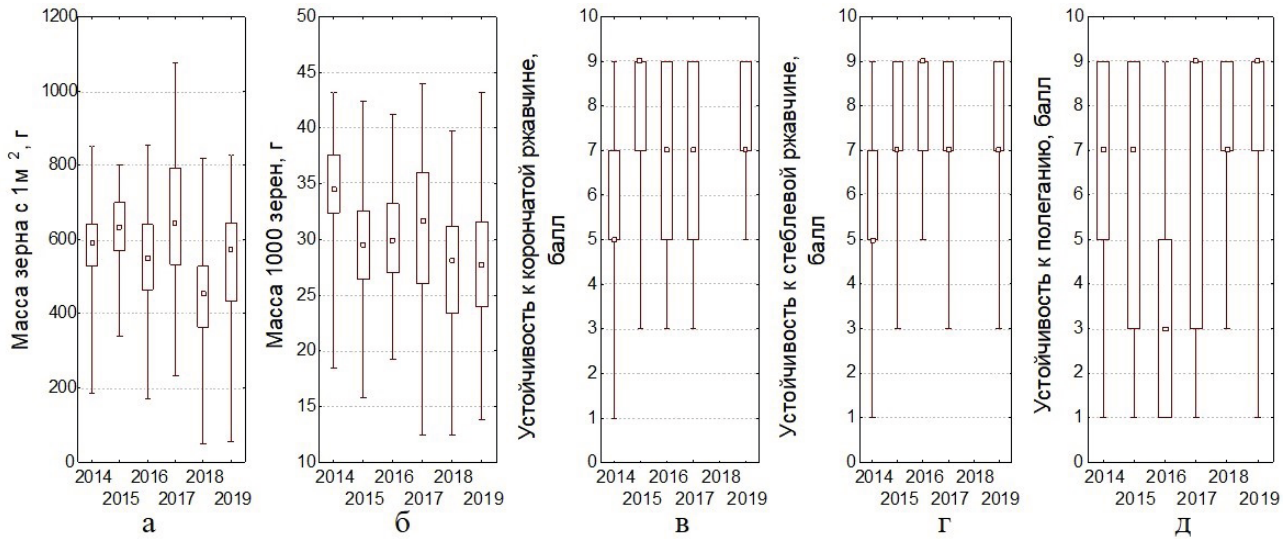


Рис. 2. Основные хозяйственно ценные показатели коллекции овса, изученные на Кубанской опытной станции ВИР в 2014–2019 гг.: а) урожайность зерна с 1 м^2; **б)** масса 1000 зерен, г; **в)** устойчивость к корончатой ржавчине, балл; **г)** устойчивость к стеблевой ржавчине, балл; **д)** устойчивость к полеганию

Fig. 2. Main agronomic indicators of the oat collection at the Kuban Experimental Station of VIR in 2014–2019: а) grain weight per 1 m^2; **б)** 1000 grain weight; **в)** resistance to crown rust; **г)** resistance to stem rust; **д)** resistance to lodging

для каждого года значения по выборке и вариабельность по годам. Из элементов структуры урожая наиболее варьировала масса зерна с растения (коэффициент вариации –35,7%), наименее – масса 1000 зерен (8,5%); промежуточные значения имели следующие показатели: масса зерна с метелки (15,6%), число зерен в метелке (14,7%), продуктивная кустистость (14,2%), число колосков в метелке (14,1%), урожайность с 1 м^2 (13,2%), число продуктивных метелок на 1 м^2 (9,7%). Высота растения варьировала на том же уровне (13,6%), а длина метелки была наиболее консервативным показателем из характеристик растения (6,3%).

По продолжительности межфазных периодов наиболее константным был период «выметывание – восковая спелость» (9,4%), периоды «всходы – восковая спелость» (18,8%) и «всходы – выметывание» (17,8%) сильнее зависели от условий года.

В зависимости от условий года значительно варьировала устойчивость к полеганию (27,9%). Устойчивости к корончатой и стеблевой ржавчинам имели близкие коэффициенты вариации: 12,7% и 12,0% соответственно.

Погодные факторы, влияющие на рост и развитие овса

Для выявления погодно-климатических факторов, важных для роста и развития растений, нужны длинные ряды наблюдений за ними. Для анализа агроклиматических зависимостей овса в условиях Кубанской опытной станции были использованы данные многолетних наблюдений за сортом ‘Валдин 765’ 1998–2019 гг. (отсутствуют данные 2011–2013 гг.). Урожайность сорта сильно коррелировала со средней урожайностью по коллекции в 2014–2019 гг. (r = 0,94), так что выявленные на сорте ‘Валдин 765’ закономерности можно отнести к коллекции в целом. Сравнение характеристик сорта за два десятилетия (2000–2009 и 2010–2019 гг.) показывает, что выметывание сорта в последнее десятилетие наступает раньше (p = 0,012) – было 3 июня, стало 30 мая, в среднем тренд составляет 0,36 сут./год. Тенденции в изменении других хозяйственно ценных признаков недостоверны: происходит увеличение высоты растения (была 91,9 см, стала 99,8 см, скорость увеличения – 0,62 см/год), повышение массы 1000 зерен (была 33,3 г, стала 34,1 г, скорость изменения – 0,02 г/год), повышение массы зерна с 1 м^2 (была 552,1 г, стала 605,7 г, скорость роста – 4,33 г/м^2/год). Практически не изменились: дата всходов (была 9 апреля, стала 8 апреля), устойчивость к корончатой ржавчине (была 6,7 балла, стала 6,8 балла), устойчивость к полеганию (была 8,1, стала 8,8 балла).

Корреляции агробиологических и агрометеорологических характеристик выявили зависимости сильной и средней силы: масса зерна с 1 м^2 зависит от осадков мая (r = 0,65) (рис. 3), от высоты растения (r = 0,64); высота растения зависит от осадков мая (r = 0,83); устойчивость к корончатой ржавчине связана с температурой июня (r = 0,70). Осадки мая показали тенденцию к увеличению (на 2,01 мм/год, p = 0,157), что может объяснить увеличение высоты растения и урожайности и создает предпосылки к возрастанию этих показателей в случае дальнейшего роста осадков. Температура июня показала тенденцию к увеличению (на 0,09°C/год, p = 0,090), что может снизить поражение корончатой ржавчиной.

Масса 1000 зерен не показала достоверных связей ни с какими исследованными агробиологическими и агрометеорологическими параметрами.

Полиморфизм образцов коллекции

Для исследованных 307 образцов были рассчитаны средние многолетние значения. В качестве характеристики устойчивости образца выбраны наименьшие значения за годы исследования. Выборка характеризовалась значительным полиморфизмом (табл. 1). Урожайность сортов варьировала от 172,4 до 763,0 г/м^2, причем 50% образцов имели урожайность в диапазоне 449,9–626,9 г; масса 1000 зерен варьировала от 15,7 до 40,5 г (50% образцов имели показатель на уровне 25,5–32,6 г), пленчатость – от 20,0 до 43,5% (27,3–32,0 г), устойчивость к корончатой ржавчине – от 1 до 9 баллов (5–7 баллов), к стеблевой – от 3 до 9 баллов (5–7 баллов), к полеганию – от 1 до 9 баллов (1–7 баллов).

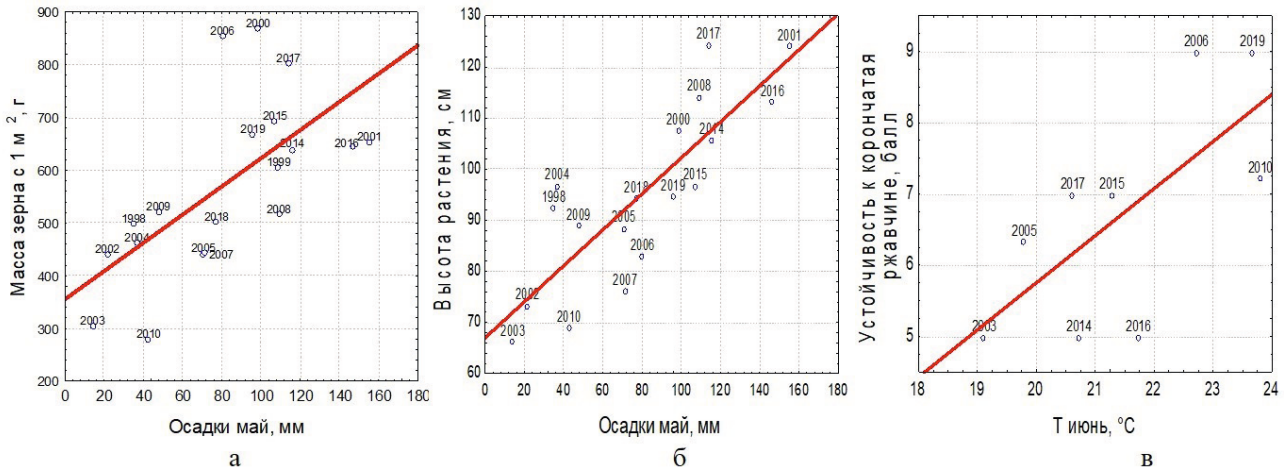


Рис. 3. Погодная зависимость хозяйственно ценных признаков овса сорта 'Валдин 765' в условиях Краснодарского края: а) урожайность зерна с 1 м^2; **б)** высота растений; **в)** устойчивость к полеганию

Fig. 3. Weather dependence of useful agronomic characters in oat cv. 'Valdin 765' under the conditions of Krasnodar Territory: а) grain weight per 1 m^2; **б**) plant height; **в**) resistance to lodging

Таблица 1. Полиморфизм изученной коллекции овса (307 образцов) в условиях Краснодарского края в 2014–2019 гг.

Table 1. Polymorphism of the studied oat collection (307 accessions) under the conditions of Krasnodar Territory, 2014–2019

Признак	Среднее значение признака	Min	Max	Нижний квартиль	Верхний квартиль
Урожайность с 1 м^2, г	537,1	172,4	763,0	449,9	626,9
Устойчивость к корончатой ржавчине, балл	5,9	1,0	9,0	5,0	7,0
Устойчивость к стеблевой ржавчине, балл	6,6	1,0	9,0	5,0	7,0
Масса зерна с 1 метелки, г	1,3	0,3	8,2	1,1	1,5
Масса зерна с 1 растения, г	1,8	0,3	5,8	1,4	2,2
Число зерен в метелке, шт.	46,3	18,2	108.1	37,4	53,1
Число колосков в метелке, шт.	41.7	15,7	85,7	33,9	48,6
Число продуктивных метелок на 1 м^2, шт.	472,9	191,3	1153,1	385,4	543,4
Масса 1000 зерен, г	28,9	15,7	40,5	25,5	32,6
Пленчатость, %	29,5	20,0	43,5	27,3	32,0
Озерненность, шт.	1,2	0,5	4,6	1,0	1,3
Длина метелки, см	21,0	13,1	32,6	18,8	23,2
Высота растений, см	109,1	52,6	146,6	101,4	118,4
Устойчивость к полеганию, балл	4,1	1,0	9,0	1,0	7,0
Продуктивная кустистость, шт.	1,4	1,0	2,8	1,2	1,6
Продолжительность «всходы – выметывание», сут.	58,3	45,0	74,0	55,5	62.0
Продолжительность «всходы – восковая спелость», сут.	86,7	76,7	106,0	84,7	89,3
Устойчивость к поражению пьявицей, балл	4,8	1,0	9,0	5,0	5,0
Облиственность, балл	5,4	3,0	8,0	5,0	6,0

Исследование полиморфизма методом главных компонент показало, что по критерию Кайзера (собственное значение компоненты больше 1) интересны первые 6 компонент, объясняющие 69,5% дисперсии выборки. Главный фактор (27,7%), дифференцирующий выборку, – скороспелость образца (продолжительность периодов «всходы – выметывание», «всходы – созревание»), а также положительно связанные с ними длина метелки и число колосков в метелке. Второй фактор (13,9%) может быть интерпретирован как масса зерна с растения и метелки, обратно связанные с числом продуктивных метелок. Третий фактор (9,1%) – устойчивость к корончатой ржавчине. Четвертый фактор (7,5%) – урожайность и масса 1000 зерен. Пятый фактор (6,1%) – продуктивная кустистость. Шестой фактор (5,2%) – устойчивость к пьявице.

Корреляционный анализ выявил только слабые и средней силы связи между хозяйственно ценными признаками, за исключением сильной корреляции между продолжительностью вегетации и периода «всходы – выметывание» (0,88). Урожайность образца связана с массой 1000 зерен (0,54), массой зерна с метелки (0,42). Масса 1000 зерен образца отрицательно коррелирует с числом зерен в метелке (–0,31), длиной метелки (–0,39), высотой растения (–0,30), продолжительностью периода «всходы – выметывание» (–0,47), положительно – с продолжительностью периода «выметывание – созревание» (0,37). Масса зерна с растения связана с массой зерна с метелки (0,48), с продуктивной кустистостью (0,36), обратно коррелирует с числом продуктивных метелок на 1 м^2 (–0,41). Масса зерна с метелки связана с озерненностью (0,54), числом зерен в метелке (0,48). Число зерен в метелке связано с числом колосков в метелке (0,66) и отрицательно – с числом продуктивных метелок на 1 м^2 (–0,52). Число колосков в метелке связано с длиной метелки (0,63), продолжительностью периода «всходы – выметывание» (0,65), облиственностью (0,46). Длина метелки коррелирует с высотой растения (0,77), продолжительностью периода «всходы – выметывание» (0,67), облиственностью (0,46). Сама облиственность отрицательно связана с продолжительностью периода «выметывание – созревание» (–0,44). Продолжительность межфазного периода «всходы – выметывание» сильно коррелирует с продолжительностью вегетации (0,88), облиственностью (0,50), отрицательно – с периодом «выметывание – созревание» (–0,67). Устойчивость образца к корончатой ржавчине коррелирует с его устойчивостью к стеблевой ржавчине (0,59); обе устойчивости положительно связаны с продуктивной кустистостью образца (0,18 и 0,34 соответственно). Устойчивость к пьявице положительно коррелирует с облиственностью (0,34). Устойчивость к полеганию отрицательно коррелирует с высотой растения (–0,37). Пленчатость имеет только слабые связи с другими показателями.

Группировки показателей видны в пространстве первых двух факторов (рис. 4).

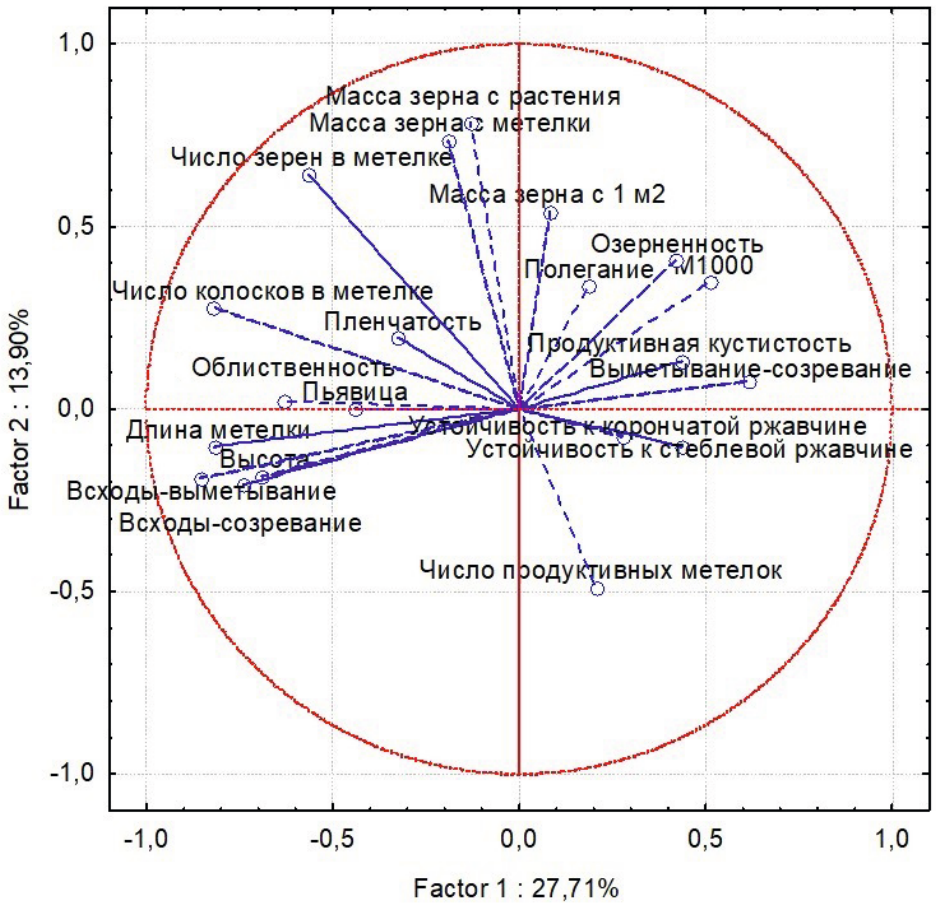


Рис. 4. Связи агробиологических характеристик овса в условиях Краснодарского края в пространстве первых двух факторов

Fig. 4. Relationships among agrobiological characteristics of oat under the conditions of Krasnodar Territory in the space of the first two factors

Различия экологических групп

Из 307 образцов экологическая группа точно определена у 305 образцов (два образца предположительно относятся к группе Марашская и в данный анализ не вошли). Единичными образцами представлены Дальневосточная приморская и Центрально-Испанская группы, которые также не вошли в данный анализ.

Пятнадцать оставшихся групп представлены тремя и более образцами (табл. 2). Достоверность различий между средними значениями характеристик групп была исследована дисперсионным анализом и апостериорным критерием Тьюки для неравных выборок. Анализ показал, что достоверные различия между экологическими группами наблюдались по всем показателям, кроме поражения пьявицей, массы зерна с растения, числа продуктивных стеблей на 1 м^2. Группы характеризовались большой внутригрупповой изменчивостью (см. табл. 2, рис. 5), поэтому в основном достоверны различия только между крайними значениями.

По наиболее значимым хозяйственно ценным признакам отмечаются следующие различия.

На рисунке 5 показаны медианное, минимальное, максимальное, квартильные значения по исследованной выборке. Высоким средним урожаем с 1 м^2 в условиях Краснодарского края отличаются образцы из Низинной Западно-Европейской (630,6 г), Степной (626,6 г), Скандинавской (613,3 г), Северной русской (607,9 г) групп, достоверно превышая образцы групп с самым низким урожаем: Китайско-Монгольскую (378,2 г) и Субтропическую влажную (473,3 г)

По массе 1000 зерен выделяются образцы Южно-Американской группы, показавшие наибольшее значение (33,5 г), а также образцы Австралийской (32,4 г) и Английской (31,7 г) групп. Наименее крупное зерно было у образцов из Китайско-Монгольской (23,4 г) группы.

Наиболее ранними оказались образцы Южно-Американской группы, у которых продолжительность межфаз-

Таблица 2. Характеристика экологических групп овса в условиях Краснодарского края в 2014–2019 гг.
Table 2. Characteristics of the ecological groups of oat under the conditions of Krasnodar Territory, 2014–2019

Группа	Число образцов	Масса зерна с 1 м^2, г	Масса 1000 зерен, г	Устойчивость к корончатой ржавчине, балл	Устойчивость к стеблевой ржавчине, балл	Устойчивость к полеганию, балл
Австралийская	4	490,5 ± 60,8	32,4 ± 2,8	8,0 ± 1,0	6,0 ± 1,0	4,0 ± 1,7
Английская	3	586,3 ± 82,6	31,7 ± 0,3	5,0 ± 0,0	7,0 ± 1,2	5,0 ± 2,0
Восточно-Сибирская	3	561,1 ± 2,5	30,3 ± 2,4	5,0 ± 0,0	6,3 ± 0,7	7,7 ± 1,3
Западно-Европейская «озимая»	6	557,2 ± 34,5	28,2±1,8	5,.4 ± 0,4	5,0 ± 0.0	2,7±0,8
Западно-Сибирская степная	22	577,4 ± 10,5	30,1 ± 0,5	6,6 ± 0,4	6,5 ± 0,3	3,1 ± 0,6
Китайско-Монгольская	33	378,2 ± 21,4	23,4±0,7	5,8 ± 0,5	7,0 ± 0,3	5,1 ± 0,5
Лесостепная европейская	26	521,9 ± 10,4	26,4 ± 1,0	5,9 ± 0,4	6,5 ± 0,4	8,6 ± 0,4
Низинная Западно-Европейская	51	630,6 ±,9.3	30,3 ± 0,4	5,8 ± 0,2	5,7 ± 0,2	8,1 ± 0,3
Северная русская	16	607,9 ± 15,0	30,2 ± 0,9	6,2 ± 0,6	6,8 ± 0,4	2,3 ± 0,4
Северо-Американская	28	530,2 ± 14,3	27,7 ± 0,7	7,0 ± 0,0	8,0 ± 0,7	2,6 ± 0,3
Скандинавская	8	613,3 ± 41,9	27,5 ± 1,4	5,3 ± 0,6	5,3 ± 0,3	4,5 ± 0,8
Субтропическая влажная	4	473,3 ± 70,4	31,3 ± 3,5	7,0 ± 0,0	7,0 ± 1,4	1,0 ± 0,0
Степная	10	626,6 ± 12,3	30,3 ± 1,1	6,1 ± 0,6	6,0 ± 0,3	2,6 ± 0,8
Южно-Американская	54	519,3 ± 11,1	33,5 ± 0,5	9,0± 0,0	8,1 ± 0,2	5,1 ± 0,2
Южно-Европейская	4	540,6 ± 47,7	27,3 ± 1,7	5,0 ± 0,0	6,3 ± 0,7	2,0 ± 0,6

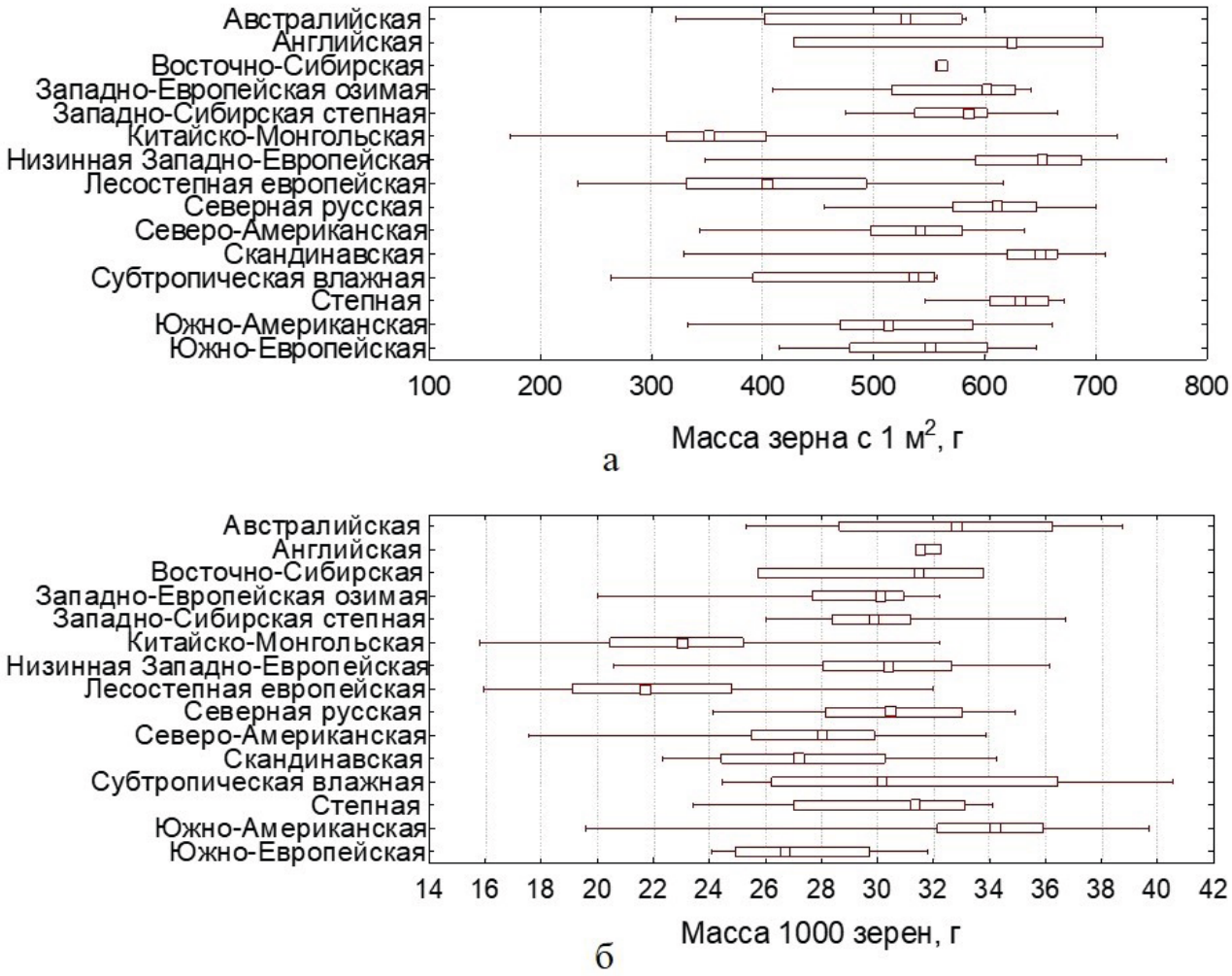


Рис. 5. Характеристики экологических групп овса по урожайности (а) и по массе 1000 зерен (б)

Fig. 5. Yield characteristics of the ecological groups of oat: a) grain weight per 1 m²; б) 1000 grain weight

ного периода «всходы – восковая спелость» составила в среднем 81 сут.; наиболее поздними – образцы из Английской (90 сут.) группы.

Наибольший средний балл устойчивости к корончатой ржавчине имели образцы Южно-Американской (9 баллов) и Австралийской групп (9 баллов), наименьший – у образцов Английской (5 баллов), Восточно-Сибирской (5 баллов) и Южно-Европейской групп (5 баллов). Наибольшим баллом устойчивости к стеблевой ржавчине характеризовались образцы Южно-Американской (8,1 балла) и Северо-Американской групп (8,0 баллов), наименьшим – образцы Западно-Европейской «озимой» (5,0 баллов), Скандинавской (5,3 балла) и Низинной Западно-Европейской групп (5,7 баллов). Наибольший балл устойчивости к полеганию был у образцов Лесостепной европейской (8,6 балла), Низинной Западно-Европейской (8,1 балла) и Восточно-Сибирской (7,7 балла) групп; наименьший – у образцов Субтропической влажной (1,0 балл), Северной русской (2,3 балла), Северо-Американской (2,6 балла) групп.

Выделение источников хозяйственно ценных признаков у образцов овса различных экологических групп

В изученный набор вошли 75 образцов из Российской Федерации, относящиеся к пяти экологическим группам: Северной русской, Восточно-Сибирской, Западно-Сибирской степной, Лесостепной европейской и Низинной Западно-Европейской.

Северная русская экологическая группа представлена образцами из Ленинградской и Кировской областей. Образцы из Ленинградской области были раннеспелыми (78,0–80,7 суток), за исключением сорта ‘Пибанд’ (к-15440), вегетационный период которого составил 91,0 сут. Образец ‘Скороспелый 2’ (к-15548) выделен как источник скороспелости за три года изучения. Высота растений у образцов этой группы составляла 79,5–112,3 см. Все образцы обладали повышенной устойчивостью к корончатой и стеблевой ржавчинам. Масса 1000 зерен у изученных образцов была средняя – 24,1–34,9 г, у сорта ‘Пибанд’ с голым зерном – высокая (25,5 г). Пленчатость зерна образцов отмечалась на уровне 24–30%. Метелка была средней длины с массой зерна 0,5–1,4 г и числом колосков 26,0–43,9 шт. Большое число продуктивных метелок на 1 м² отмечено у сортов ‘Среднеспелый 1’ (к-15549) и ‘Среднеспелый 2’ (к-15550) – 649,7 и 609,7 шт. соответственно. Урожайность образцов из Ленинградской области варьировала от 233,6 до 603,1 г/м². В благоприятные годы сорта ‘Среднеспелый 1’, ‘Среднеспелый 2’, ‘Скороспелый 1’ (к-15547) формировали высокую урожайность – от 678,2 до 723,4 г/м². Сорта ‘Скороспелый 1’, ‘Скороспелый 2’, ‘Позднеспелый’ (к-15551) выделились по содержанию масла в зерновке – 5,9–6,2%.

Образцы из Кировской области были среднеспелыми и среднепоздними, их вегетационный период составлял 83,7–91,3 сут. Высота соломины доходила до 107,7–123,6 см. Все образцы были среднеустойчивы к полега-

нию. По устойчивости к стеблевой ржавчине (7 баллов) выделились сорта 'Сапсан' (к-15444), 'Медведь' (к-15494) и 'Санур' (к-15616). Линия 19h06 (к-15445) имела групповую устойчивость к корончатой и стеблевой ржавчинам. Образцы обладали средним по крупности зерном (масса 1000 зерен – 29,0–34,5 г). Содержание белка в зерне составило 12,0–13,4%, масла – 3,6–5,5%. Сорта 'Аватар' (к-15443) и 'Сапсан' показали урожайность на 104–106% выше стандартного сорта 'Валдин 765', урожайность других образцов была в пределах 68–98% от стандарта.

К Лесостепной европейской экологической группе относятся образцы из Ульяновской и Свердловской областей. Образцы из Ульяновской области были среднепоздними, с вегетационным периодом 88,0–92,0 сут. Высота растений составляла 113,0–137,3 см. В годы с повышенным увлажнением и сильными ветрами многие сорта сильно полегали; в таких условиях высокую устойчивость к полеганию (балл устойчивости – 9) показали два образца: У 116/14 (к-15578) и 'Тройка' (к-15621). Для многих образцов характерна длинная метелка – 19,6–29,8 см, с числом зерен от 61,0 до 105,7 шт. Масса 1000 зерен у пленчатых форм достигала 25,8–32,7 г, у голозерных – 15,6–23,7 г. Образцы из Ульяновской области отличались высокими показателями продуктивности одного растения. Большую массу зерна с растения (2,8–3,7 г) формировали линии Ульяновского НИИСХ: 47/12 (к-15448), У-39/14 (к-15567), У-113/14 (к-15576) и др. По устойчивости к стеблевой ржавчине (балл устойчивости – 7–9) выделились образцы: 'Кентер' (к-15565), У-112/14 (к-15575), У-36/14 (к-15666). Групповую устойчивость к корончатой и стеблевой ржавчинам имели линии У-70/14 (к-15573) и У-77/14 (к-15574). Наиболее урожайной оказалась линия У-41/14 (к-15568) – 716,7 г/м^2 (126% от стандарта). У сорта 'Всадник' (к-15495) за годы изучения мало изменялась масса зерна с 1 м^2, а у линии 43/12 (к-15446) – масса зерна с 1 м^2 и пленчатость.

Образцы из Свердловской области среднепоздние и позднеспелые, период «всходы – созревание» у них – от 88 до 91 сут. Высота растений изменялась по годам от средней до высокой. Высокой устойчивостью к полеганию отличался сорт 'Покров' (к-15580), который был устойчив в полевых условиях к поражению стеблевой и корончатой ржавчинами. Высокие показатели массы зерна и числа зерен в метелке отмечались только у сорта 'Покров ' (2,7 г и 72,0 шт. соответственно). Наиболее урожайными в этой экологической группе были образцы 'Атлет' (к-15497) и 'Покров'.

Образцы Западно-Сибирской степной экологической группы из Алтайского края, Кемеровской, Новосибирской, Омской, Томской и Тюменской областей отличались средне- и позднеспелостью. Средняя продолжительность вегетационного периода у изучаемой группы была 88,5 сут. Растения среднерослые, склонность к полеганию имели образцы с высотой от 107,0 до 120,0 см. Однако были выделены устойчивые образцы с прочной соломиной: 'Красавчик' (к-15581, Кемеровская обл.), 'Чемал' (к-15622, Алтайский край), 'Мустанг' (к-15626) и 'Памяти Ушакова' (к-15626) из Томской области. К поражению стеблевой и корончатой ржавчинами в полевых условиях были устойчивы сорта 'Орфей' (к-15452, Алтайский край), 'Новосибирский 5' (к-15453, Новосибирская обл.), 'Гаврош' (к-15439, Кемеровская обл.), 'Мутика 1120' (к-15455, Омская обл.). Многие образцы характеризовались хорошей продуктивностью одного растения – от 2,2 до 2,8 г, в том числе сорта 'Мустанг', 'Чемал', 'Новосибирский 5' и др. Метелка у таких образцов была длинная (20,3–30,0 см) и раскидистая. Крупное зерно (36,7 г) отмечено у сорта 'Чемал'. Этот сорт выделен как источник крупнозерности за три года изучения. Наибольшее число зерен в метелке (60,5 шт.) имела линия 2204/03 (к-15457, Томская обл.). Высоким содержанием масла (6,0–6,2%) выделились образцы 'Новосибирский 7' (к-15454, Новосибирская обл.), 'Мутика 1120', 3449/00 (к-15456, Томская обл.). Отмечено, что у ряда образцов за годы изучения не было резких колебаний показателей продуктивности, что говорит о засухоустойчивости сортов из Западной Сибири. Наиболее урожайными были образцы 1628/05 (к-15459, Томская обл.) – 665,4 г/м^2 и 'Памяти Ушакова' (к-15626, Томская обл.) – 642,7 г/м^2 (урожайность стандарта равнялась 660,1 г/м^2).

Образцы из Иркутской области и Бурятии относятся к Восточно-Сибирской экологической группе. Изученный набор представлен среднепоздними образцами. Растения кустились слабо. Высота растений составляла 115–119 см. Устойчивость к полеганию была средняя. Все образцы оказались устойчивыми к стеблевой ржавчине. Сорт 'Тулунский 30' (к-15625, Иркутская обл.) был устойчив к корончатой ржавчине, остальные образцы поражались в средней степени (балл поражения – 5). Метелка образцов характеризовалась повышенной длиной (20,7–26,9 см) и средней массой зерна (1,2–1,6 г). Большую массу зерна с растения имели сорта 'Виленский' (к-15499, Якутия), 'Егорыч' (к-15624) и 'Тулунский 30' из Иркутской области – 2,1–2,4 г. Масса 1000 зерен у изученных образцов была 28,3–33,0 г. Содержание белка у образцов составило в среднем 11,6–12,6%, а масличность – 3,5–5,5%. По урожайности зерна с 1 м^2 образцы этой группы уступали стандартному сорту на 13–16%.

Образцы из Великобритании, относящиеся к Английской экологической группе, были средне- и позднеспелыми, с массой 1000 зерен 21,3–32,3 г и пленчатостью 23–31%. Продуктивность одного растения была высокая – 2,1–2,5 г. Сорта Местный (к-15286) и 'Progress' (к-15398) были хорошо облиственны и устойчивы к повреждению пьявицей. Большинство образцов показали восприимчивость к корончатой ржавчине. Выделены устойчивые к стеблевой ржавчине образцы: 'Conway' (к-15630), 'Lennon' (к-15631), '14789 CN' (к-15629). Эти же образцы также были устойчивы к полеганию, имея прочный стебель. Образцы '14789 CN' и 'Conway' показали высокую урожайность (624,1 и 706,6 г/м^2).

Образцы овса Скандинавской экологической группы из Дании, Норвегии и Швеции были среднеспелыми и среднепоздними. Метелка образцов по величине была средняя и длинная, масса зерна с метелки составляла 1,3–2,0 г. Большое число зерен в метелке (75,9 и 83,0 шт. соответственно) отмечено у сортов 'SW Margaret' (к-15395, Швеция) и 'Bessin' (к-15611, Норвегия). У других сортов эти показатели были средними. Образцы имели зерно мелкое и средней крупности (масса 1000 зерен – 22,3–34,2 г). Содержание белка в зерне составляло 13,1–13,4%, жира – от 4,1 до 6,0%. Большинство образцов были восприимчивы к грибным болезням, за исключением сортов 'SW Margaret' и 'Trekornet Gul' (к-15396, Дания). Высота растений была средней и выше средней (99–125 см). Устойчивость к полеганию оценивалась баллами от 3 до 9. Сорта 'SW Ingeborg' (к-15394, Швеция), 'Valer' (к-15612), 'Bessin' (к-15611, Норвегия) имели прочную соломину и не полегали (балл устойчивости – 9). Выделялись хорошо облиственные сорта из Швеции: 'Trekornet Gul', 'SW Argull' (к-15393), 'SW Ingeborg', 'SW Margaret'. Повышенной урожайностью отличились сорта из Норве-

гии 'Ringsaker' (к-15496) – 672,0 г/м^2 и 'Valer' (к-15469) – 708,8 г/м^2.

Западно-Европейская «озимая» экологическая группа в изучении представлена сортами из Франции. Эти сорта были среднеспелыми и среднепоздними, с вегетационным периодом 84–90 сут. Растения были средней высоты (85–107 см) и высокие (125–141 см). Масса 1000 зерен составляла 20,0–32,2 г, пленчатость – 22–32%. Наиболее продуктивными среди французских сортов были 'Auteuill' (к-15400), 'Chautilly' (к-15401), 'Japeloup' (к-15402), показавшие урожайность на уровне 92–95% от стандартного сорта. В условиях степной зоны Краснодарского края среди образцов из Франции выделились сорта: 'Minue' (к-15404), 'Avoine Nue Renne' (к-15399), 'Joanette' (к-1833), отличившиеся высокой устойчивостью к корончатой ржавчине. Сорт 'Joanette' не поражался стеблевой ржавчиной, красногрудой пьявицей, имел хорошую облиственность и показал низкий процент пленок в зерне. По содержанию жира в зерне на уровне 6,1–6,3% выделились сорта 'Japeloup', 'Avoine Nue Renne' (к-15399), 'Balino' (к-15403).

Образцы из Украины, Болгарии, Венгрии, Польши, Молдавии и Казахстана относятся к Степной экологической группе. Продолжительность периода вегетации у образцов этой группы составила от 84 до 92 сут. Они имели среднепродуктивную метелку с числом зерен 31–71 шт. и массой 1000 зерен 23,6–33,8 г. Сорта из Украины 'Закат' (к-15384) и 'Бусал' (к-15385) в благоприятные годы формировали крупное выполненное зерно (40,0–41,2 г). Все сорта были среднерослые, не склонные к полеганию. Высокую продуктивность растений (2,4–2,9 г) показали украинские сорта: 'Сарон' (к-15386), 'Закат' и 'Свитанок' (к-15504), а также сорта 'Донен' (к-15627, Казахстан), 'Cvat' (к-15341, Польша), 'Saltaret' (к-15388, Молдова). Хорошая облиственность отмечена у сортов из Украины – 'Дарунок' (к-15383), 'Закат', 'Бусал', 'Сарон' и у сортов из Казахстана – 'Никола' (к-15389), 'Кулагер' (к-15464), 'Кулан' (к-15628). В полевых условиях к поражению корончатой и стеблевой ржавчиной высокоустойчивы были сорта из Украины: 'Закат', 'Житомирский' (к-15502), 'Свитанок', 'Визит' (к-15501), 'Раньостыглый' (к-15503), 'Смачный' (к-15382). Образцы из Казахстана не поражались корончатой ржавчиной, а сорта 'Донен' и 'Кулан' сочетали устойчивость к стеблевой ржавчине и устойчивость к повреждению пьявицей. Содержание масла 5,5–6,0% показали сорта 'Житомирский', 'Свитанок', 'Смачный' из Украины и сорт 'Донен' из Казахстана. Урожайность на уровне стандартного сорта была отмечена у образцов 'Cvat', 'Deresz' (к-15430) из Польши, 'Keszthelyi TF' (к-15427, Венгрия), 'Раньостыглый' из Украины. В благоприятные по увлажнению годы сорта 'Никола', 'Кулагер' и 'Жорга' (к-15465) из Казахстана формировали урожайность 810–835 г/м^2. Урожайность остальных образцов составила 76–89% от стандарта.

Низинная Западно-Европейская экологическая группа была представлена образцами из Московской области, Белоруссии и Германии. Все образцы из Московской области по продолжительности вегетационного периода относились к среднепоздним и позднеспелым, период «всходы – созревание» у них – от 88 до 91 сут. Высота растений изменялась по годам от средней до высокой. Высокой устойчивостью к полеганию отличались линии ФИЦ «Немчиновка» КСИ-35-14 (к-15553), КП-27-14 (к-15556), КП-33-14 (к-15557), 2СП-98-14 (к-15560), 2СП-197-14 (к-15563). Все образцы в полевых условиях поражались стеблевой и корончатой ржавчинами и не отличались большой массой зерна в метелке. Большое число зерен в метелке (больше 60 шт.) имели линии КСИ-40-14 (к-15555), КП-27-14, 2СП-135-14 (к-15561). Наиболее урожайными в этой экологической группе были линии из Московской области: КП-33-14, КСИ-22-14 (к-15552), КП-42-14 (к-15559). Образцы из Белоруссии представлены среднепоздними сортами, высота растений составляла 101–113 см, к полеганию они были устойчивы. Кустистость растений составляла 1,1–1,4 шт. Зерно мелкое и среднее по величине (25,0–32,3 г). Высокое содержание масла отмечено в зерне голозерного сорта 'Владыка' (к-15408) – 6,2%. Сорта 'Королек' (к-15461) и 'Элегант' (к-15463) были устойчивы к корончатой и стеблевой ржавчине. Урожайность образцов из Белоруссии составила 394,0–649,0 г/м^2 (59,7–98,3% от стандарта). Образцы из Германии были среднеспелыми. Растения имели низкую и среднюю высоту соломины (74,7–113,0 см), были устойчивы к полеганию. У сортов 'Genziana' (к-15417), 'Krezus' (к-15419), 'Malin' (к-15421), 'Prelekst' (к-15423), 'Buggy' (к-15507), 'Kurt' (к-15511) соломина очень прочная, они не полегали даже при ливневых дождях. Выделены образцы, устойчивые к корончатой ржавчине: 'Genziana', 'Kalle' (к-15466), 'Nike' (к-15467), 'Poseidon' (к-15468), 'Max' (к-15512), 'Oberon' (к-15513); устойчивые к стеблевой ржавчине: 'Kaplan' (к-15510), 'Rasputin' (к-15409); устойчивые к двум патогенам: 'Fux' (к-15506), 'Flocke' (к-15509). Высокую массу зерна с растения (2,3–2,7 г) показали сорта 'Genziana', 'Zorro' (к-15516), 'Ozon' (к-15473), 'Dragomireste' (к-15412). Масса 1000 зерен у этих сортов составила 26,6–35,9 г. За годы изучения сорта 'Duffy' (к-15410), 'Effektiv' (к-15413), 'Furman' (к-15416), 'Husky' (к-15418), 'Krezus', 'Pergamon' (к-15422) имели массу 1000 зерен 40,0–42,4 г. В этой группе есть хорошо облиственные формы: 'Genziana', 'Furth' (к-15415), 'Furman'. Выделены сорта с высоким (более 6%) содержанием жира – 'Effektiv', 'Krezus', 'Kalle', 'Warva' (к-15426). Среди образцов из Германии много высокоурожайных образцов, превышающих стандартный сорт на 107–116%; это образцы 'Duffy', 'Effektiv', 'Krezus', 'Malin', 'Poseidon', 'Simphony' (к-15472), 'Simon' (к-15515), 'Zorro', 'Flocke', 'HSH 461-11' (к-15639).

В Субтропическую влажную экологическую группу входят сорта из средиземноморских стран – Турции, Алжира, Марокко, Туниса. Эти сорта среднеспелые, склонны к полеганию. Кустистость растений слабая. Длина метелки составляла 19–26 см, метелка малопродуктивная. Масса 1000 зерен – от 28,0 до 40,5 г. Наиболее крупнозерные образцы – 'Spontaine' (к-15593, Алжир) и Местный (к-15432, Марокко), которые формировали зерно с массой 1000 зерен 38,2–43,2 г. К корончатой ржавчине были устойчивы образцы Местный (к-15521, Тунис) и 1610 (к-15590, Турция). По урожайности все образцы уступали стандарту.

К Китайско-Монгольской экологической группе относятся 34 образца из Китая, в том числе 25 голозерных. Образцы имели высоту растений 98–127 см и были в основном устойчивы к полеганию, имели среднюю облиственность и кустистость 1,1–2,1 шт. По продолжительности вегетационного периода они относятся к среднепоздним и поздним. Вегетационный период наиболее раннеспелого образца 'Bai Yan 8' (к-15662) составил 79 сут. Этот образец выделен как источник скороспелости за три года изучения. Китайские образцы имеют средние по величине и длинные метелки (18–26 см) с малой и средней зерновой продуктивностью (0,6–1,9 г). Высокие показатели по числу зерен в метелке (64,5–

77,6 шт.) были найдены у голозерных образцов 'Ning Yan 1' (к-15655), 'Yan 2014' (к-15658) и пленчатого 'Zhan Yan 5' (к-15651). Масса 1000 зерен пленчатых форм малая и средняя (23,1–32,2 г), пленчатость – 20–33%. Зерно голозерных образцов средней крупности и крупное. Выполненное и полновесное зерно (25,2–29,8 г) формировали голозерные сорта 'Din Yan 6' (к-15518), 'Juan Za 1' (к-15656), 'Juan Za 2' (к-15647). Большую массу зерна с растения (2,4–3,2 г) показали сорта 'Bai Yan 10' (к-15657), 'Din Yan 3' (к-15519), 'Ba Yan 14' (к-15667), 'Ning Yan 1' (к-15655). По устойчивости к корончатой ржавчине выделились образцы 'Bai Yan 2' (к-15525), 'Bai Yan 6' (к-15523), 'Z-0585' (к-15251). Отсутствие поражения стеблевой ржавчиной отмечалось у сортов 'Zhan Yan 9' (к-15652), 'Zhan Yan 3' (к-15654), 'Bai Yan 10'. Высоким содержанием белка в зерне (17,7-18,3%) характеризовались сорта голозерного овса 'Bai Yan 4' (к-15650), 'Bai Yan 10', 'Bai Yan 8' (к-15662). По урожайности образцы из Китая в большинстве своем существенно уступали стандарту. Среди изученных образцов только сорта 'Zhan Yan 3' (к-15654), 'Zhan Yan 5' (к-15651), 'Zhana Yan 4' (к-15659) были урожайнее стандартного сорта 'Валдин 765' на 104–109%.

К Северо-Американской экологической группе относятся образцы из США. Сорта ранние и среднеспелые (79–88 сут.). Растения были средней высоты и высокие (91–128 см), среднеустойчивы к полеганию. Масса 1000 зерен составила 22,2–32,1 г, пленчатость – 23,3–43,5%. Образцы отличались групповой устойчивостью к корончатой и стеблевой ржавчине. Урожайность образцов составляла 75–96% от стандартного сорта. Сорта были засухоустойчивы и жаростойки, все они характеризуются слабой изменчивостью за годы изучения таких показателей продуктивности, как масса 1000 зерен и урожайность зерна с 1 м^2. Наиболее стабильные показатели урожайности за годы изучения отмечены у образцов 'C.I. 3326' (к-15475), 'C.I. 3300' (к-15476), 'Missouri 4102' (к-15495), 'Clintland 60' (к-11182). Высокое содержание белка (16,2%) отмечено у сорта 'Trucker' (к-15272). Высокое содержание масла в зерновках было у сортов 'Putnam (к-11200), 'Hecht' (к-15407), 'Delta 5204-7' (к-15674), 'Santa Fe' (к-11009) – 6,0–6,2%.

Образцы из Бразилии, Аргентины и Перу относятся к Южно-Американской экологической группе. Большинство образцов отличались исключительной скороспелостью (вегетационный период – 76–83 сут.). Короткая продолжительность общего периода вегетации позволяет уходить от «захвата зерна» (преждевременное созревание зерна) во время высоких июльских температур, сопровождаемых суховеями, что делает такие образцы ценными в условиях Кубани. Самый короткий вегетационный период (76–78 сут.) отмечен у образцов из Бразилии (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) 'UFRGS 086136-5' (к-15682), 'UFRGS 996086-3' (к-156860), 'UFRGS 1' (к-15529), 'UFRGS 2' (к-15530), 'URS Tarimba' (к-15485). Растения были низкорослыми и среднерослыми, устойчивыми к полеганию, со слабой облиственностью. Листовые пластинки узкие, небольшой длины. Все образцы были устойчивы к грибным заболеваниям. Масса зерна с растения характеризовалась как средняя и высокая (1,6–4,8 г). Образцы имели зерно выше средней крупности и крупное – 31–39 г. Выделились крупнозерные (33,3–37,3 г) образцы с низкой пленчатостью (21–24%): 'UFRGS 930597-4' (к-15607), 'UFRGS 1' (к-15529), 'URS Estampa' (к-15491), 'UFRGS 086024-2' (к-15679) и 'UFRGS 086073-3' (к-15680). Зерновая продуктивность средняя. Содержание масла составляло 3,6–6,1%. Образцы 'UFRGS 7' (к-15532), 'UFRGS 11' (к-15536), 'UFRGS 14' (к-15538) отличались высоким содержанием белка (15,0–15,9%). За годы изучения у многих образцов существенно не изменялись показатели урожайности, пленчатости и массы 1000 зерен, что указывает на их способность переносить дефицит влаги и действие высоких температур.

У образцов Австралийской экологической группы вегетационный период составлял от 82 до 90 сут., высота растений – от 52,6 до 146,6 см. Все образцы были неустойчивы к полеганию, за исключением сорта 'Brusher' (к-15172) с коротким и прочным стеблем. Масса 1000 зерен изменялась от низкой до высокой (25,3–38,4 г), пленчатость зерна составила 27,3–31,3%. Сорт 'Dooke 10' (к-15477) выделился по устойчивости к корончатой ржавчине и высокому содержанию белка в зерне (15,2%). Не поражались стеблевой ржавчиной сорта 'Moore' (к-13672) и 'Bulban' (к-14164). Сорт 'Brusher' (к-15172) был устойчив к двум видам ржавчины и показал лучшие результаты по содержанию жира в зерновке (6,0%). Урожайность образцов была ниже стандарта и составила 322,0–583 г/м^2.

В результате изучения 307 образцов овса различного эколого-географического происхождения были выделены источники селекционных признаков, которые представлены в таблице 3.

Заключение

В условиях Кубанской опытной станции урожайность коллекции овса в 2014–2019 гг. в среднем составила 537,1 г/м^2, масса 1000 зерен – 28,9 г, продолжительность вегетации – 86,7 сут. Эти показатели значительно варьировали по годам изучения. Наиболее стабильными были масса 1000 зерен и длина метелки, наиболее вариабельными – масса зерна с растения и устойчивость к полеганию.

Наблюдающийся в Краснодарском крае в последние десятилетия активный рост температур сопровождается слабым ростом осадков. Эти условия остаются благоприятными для роста и развития овса, как свидетельствуют наблюдения за сортом 'Валдин 765': наблюдается ускорение развития, сопровождающееся увеличением высоты растения и урожайности. Основным погодным фактором этой динамики является слабый рост осадков мая. Рост температур, в частности температуры июня, может снизить поражение корончатой ржавчиной. Потепление создает предпосылки для более раннего посева, что может увеличить продолжительность межфазного периода «всходы – выметывание» и, в свою очередь, повысить урожайность. Отрицательным эффектом роста осадков мая может стать увеличение полегания посевов.

Наиболее значительные различия образцов коллекции овса связаны с различными сроками созревания и характеристиками метелки. Высокая урожайность образцов в условиях Краснодарского края ассоциирована с высокой массой 1000 зерен, которая положительно связана с продолжительностью периода «выметывание – созревание» и отрицательно – с длиной метелки, числом зерен в метелке, высотой растения и продолжительностью межфазных периодов «всходы – выметывание» и «всходы – созревание».

Выявлено, что образцы различных экологических групп характеризуются определенной выраженностью различных хозяйственно ценных признаков: образцы из Западной Европы (Низинная Западно-Европейская груп-

Таблица 3. Источники хозяйственно ценных признаков овса различного эколого-географического происхождения

Table 3. Sources of useful agronomic traits among oat accessions of various ecogeographic origin

Признак	Происхождение	Лучшие образцы
Скороспелость	Бразилия	'URS Charrua', 'URS Estampa' , 'URS Tarimba', 'URS Guira', 'UFRGS 1', 'UFRGS 2'
Устойчивость к полеганию	Германия, Словакия, Великобритания	'Genziana', 'Krezus', 'Malin', 'Kurt', 'HSH 395-12', 'HSH 461-11', 'Buggy', 'Prelekst', 'Simphony', 'Vazec', 'Dunaec', 'Beer', 'Hronec', 'Ynovec', 'Clean', 'Lennon', 'Conway', '14 689 CN'
Крупнозерность	Португалия, Бразилия, Марокко	'ST. Mateus', 'URS Torena', 'URS Guana', 'URS Tarimba', 'UFRGS 17', 'UFRGS 036073-3', 'UFRGS 086136-5', 'UFRGS 9', 'UFRGS 0770026-2', 'UFRGS 08608-03', 'UFRGS 970654-3', 'UFRGS 930661-5', Местный
Продуктивность метелки	Россия (Московская, Ульяновская обл.)	КСИ-22-14, КП-35-14, КП-42-14, 2СП-98-14, 47/12, У-115/14
Продуктивность растения	Россия (Московская, Ульяновская обл.), Бразилия	КП-42-14, 2СП-98-14, 2СП-135-14, КСИ-35-14, У-77/14, 'UFRGS 2', 'UFRGS 0770026-2'
Число зерен в метелке	Россия (Московская, Ульяновская обл.)	КП-27-14, КП-33-14, КП-35-14, КП-42-14, 2СП-98-14, 2 СП-135-14, 2СП-149-14, КСИ-2214, КСИ-35-14, У-113, У-134/14, У-115/14, У-116/14, У-134/14, У-39/14, У-66/14, У-77/14, У-112/14
Урожайность зерна	Германия, Норвегия, Великобритания	'Duffy', 'Malin', 'Effectiv', 'Simon', 'Simphony', 'Poseidon', 'HSH 461-11', 'Zorro', 'Valer', 'Conway'
Короткостебельность	Германия, Бразилия, Россия (Ленинградская обл.)	'Kurt', 'Buggy', 'Oberon', 'URS Taura', 'UFRGS 910906-3', 'UFRGS 91095-1-3', 'Пибанд'
Облиственность	Украина, Швеция, Россия (Ульяновская обл.)	'Дарунок', 'Закат', 'Бусал', 'Сарон' , 'SW Argull', 'SW Ingeborg', 'SW Margaret', 'Кейтер', У-36/14, У-41/14, У-112/14
Групповая устойчивость к корончатой и стеблевой ржавчине	Россия (Ленинградская, Московская, Ульяновская, Омская обл.), Бразилия, Китай, США	'Скороспелый 1', 'Среднеспелый 1', 'Среднеспелый 2', КП-33-14, КП-35-14, У-70/14, 'Мутика 1120', 'URS Guara', 'URS Charrua', 'URS Torena', 'URS Estampa', 'URS Corona', 'URS Guana', 'URS Tarimba', 'URS Penca', 'URS Taura', 'UFRGS 106150-3', 'UFRGS 1', 'UFRGS 15', 'UFRGS 16', 'UFRGS 17', 'UFRGS 884070-2', 'UFRGS 77041-6', 'UFRGS 086190-1', 'Bao Yan 5', 'Zhan Jan 5', 'Zhan Jan 3', 'Bai Jan 10', 'Bai Jan 8', 'INO 9201', 'Trucker'
Содержание жира в зерне	Россия (Ленинградская, Омская, Кировская обл.), Казахстан, США, Германия	'Скороспелый 1', 'Мутика 1120', 'Сапсан', 'Никола', 'Putnam', 'Krezus', 'Warwa'
Содержание белка	Россия (Кировская, Ульяновская обл.), Украина, Германия, Австралия, США	'Санур', У 35-14, 'Закат', 'Malin', 'Brusher', 'Delta 5104-7'

па) и Скандинавии (Скандинавская группа) наиболее урожайные и устойчивы к полеганию, из Бразилии (Южно-Американская группа) – самые раннеспелые и крупнозерные, сорта из РФ (российские группы), Южной Америки (Южно-Американская группа), США (Северо-Американская группа) и Китая (Китайско-Монгольская группа) отличаются устойчивостью к поражению корончатой и стеблевой ржавчинами. Отечественные образцы из Московской (Низинная Западно-Европейская группа) и Ульяновской областей (Лесостепная европейская группа) имеют высокие показатели структуры урожайности (масса зерна с 1 метелки, число зерен в метелке, масса зерна с 1 растения). Короткостебельность отмечена у образцов из России (Ленинградская обл.) (Северная рус-

ская группа), Бразилии (Южно-Американская группа) и Германии (Низинная Западно-Европейская группа). Хорошей облиственностью характеризуются российские сорта из Ульяновской области (Лесостепная европейская группа) и зарубежные – из Украины (Степная группа) и Швеции (Скандинавская группа). Высокие биохимические показатели выявлены у образцов из России (Северная русская и Лесостепная европейская группы), США (Северо-Американская группа), Бразилии (Южно-Американская группа) и Китая (Китайско-Монгольская группа).

References / Литература

Eckardt N.A., Ainsworth E.A., Bahuguna R.N., Broadley M.R., Busch W., Carpita N.C. et al. Climate change challenges, plant science solutions. *The Plant Cell*. 2023;35(1):24-66. DOI: 10.1093/plcell/koac303

Elsgaard L., Børgesen C.D., Olesen J.E., Siebert S., Ewert F., Peltonen-Sainio P. et al. Shifts in comparative advantages for maize, oat and wheat cropping under climate change in Europe. *Food Additives and Contaminants: Part A*. 2012;29(10):1514-1526. DOI: 10.1080/19440049.2012.700953

International COMECON list of descriptors for *Avena* L. Leningrad: VIR; 1984. [in Russian] (Международный классификатор СЭВ рода *Avena* L. Ленинград: ВИР; 1984).

Kole C. (ed.). Genomic designing of climate-smart cereal crops. Cham: Springer; 2020. DOI: 10.1007/978-3-319-93381-8

Korelina V. A., Batakova O. B., Zobnina I.V., Kabashov A.D. Economic and biological characteristics of the new spring oats variety "Arkhan". *Grain Economy of Russia*. 2021;1(73):20-25. [in Russian] (Корелина В.А., Батакова О.Б., Зобнина И.В., Кабашов А.Д. Хозяйственно-биологические признаки нового сорта овса ярового "Архан". *Зерновое хозяйство России*. 2021;1(73):20-25). DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-20-25

Loskutov I.G. Oat (*Avena* L.). Distribution, systematics, evolution, and breeding value (Oves (*Avena* L.). Rasprostraneniye, sistematika, evolyutsiya i selekstionnaya tsennost). St Petersburg: VIR; 2007. [in Russian] (Лоскутов И.Г. Овес (*Avena* L.). Распространение, систематика, эволюция и селекционная ценность. Санкт-Петербург: ВИР; 2007).

Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoy kollektsii yachmenya i ovsa). St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).

Loskutov I.G., Novikova L.Yu., Kovaleva O.N., Ivanova N.N., Blinova E.V., Belskaya G.V. Ecological-geographic approaches to the study of genetic diversity of barley and oat from the VIR collection. *Ecological Genetics*. 2020;18(1):89-102. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Новикова Л.Ю., Ковалева О.Н., Иванова Н.Н., Блинова Е.В., Бельская Г.В. Эколого-географические подходы к изучению генетического разнообразия ячменя и овса из коллекции ВИР. *Экологическая генетика*. 2020;18(1):89-102). DOI: 10.17816/ecogen16128

Mordvinkina A.I., Ecological and geographical classification of cultivated and weed-field oats (Ekologo-geograficheskaya klassifikatsiya kulturnykh i sorno-polevykh ovsov). *Doklady Vsesoyuznoy akademii selskokhozyaystvennykh nauk im. V.I. Lenina = Reports of the V.I. Lenin All-Union Academy of Agricultural Sciences*. 1939;(5):3-10. [in Russian] (Мордвинкина А.И. Эколого-географическая классификация культурных и сорно-полевых овсов. *Доклады Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В.И. Ленина*. 1939;(5):3-10).

Rodionova N.A., Soldatov V.N., Merezhko V.E., Yarosh N.P., Kobylyansky V.D. Flora of cultivated plants. Vol. 2 (Pt 3). Oat (Kulturnaya flora. T. 2, ch. 3. Oves). Moscow: Kolos; 1994. [in Russian] (Родионова Н.А., Солдатов В.Н., Мережко В.Е., Ярош Н.П., Кобылянский В.Д. Культурная флора СССР. Т. 2, ч. 3. Овес. Москва: Колос; 1994).

Tulyakova M.V., Batalova G.A., Loskutov I.G., Permyakova S.V., Krotova N.V. Assessment of adaptability parameters in hulled oat germplasm accessions in terms of their yield in the environments of Kirov Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):72-79. [in Russian] (Тулякова М.В., Баталова Г.А., Лоскутов И.Г., Пермякова С.В., Кротова Н.В. Оценка адаптивных параметров коллекционных образцов овса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(1):72-79). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79

Vavilov N.I. Centers of origin of cultivated plants (Tsentry proiskhozhdeniya kulturnykh rasteniy). In: *N.I. Vavilov. Selected Works. Vol. 5 (N.I. Vavilov Izbrannye trudy. T. 5)*. Moscow; Leningrad; 1965. p.9-107. [in Russian] (Вавилов Н.И. Центры происхождения культурных растений. В кн.: *Н.И. Вавилов. Избранные труды. Т. 5*. Москва; Ленинград; 1965. С.9-107).

Winkler L.R., Bonman J.M., Chao S., Yimer B.A., Bockelman H., Klos K.E. Population structure and genotype–phenotype associations in a collection of oat landraces and historic cultivars. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:1077. DOI: 10.3389/fpls.2016.01077

Информация об авторах

Нина Петровна Войцуцкая, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Кубанская опытная станция – филиал ВИР, 352183 Россия, Краснодарский край, Гулькевичский район, п. Ботаника, ул. Центральная, 2, voycuckaya63@mail.ru, https://orcid.org/0009-0009-1155-2162

Игорь Градиславович Лоскутов, доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующий отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9, i.loskutov@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-9250-7225

Елена Владимировна Блинова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.blinova@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-8898-4926

Любовь Юрьевна Новикова, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, l.novikova@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0003-4051-3671

Information about the authors

Nina P. Voytsutskaya, Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Kuban Experiment Station – branch of VIR, 2 Tsentralnaya St., Krasnodar 352183, Russia, voycuckaya63@mail.ru, https://orcid.org/0009-0009-1155-2162

Igor G. Loskutov, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor, Chief Researcher, Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, Professor, St. Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya Emb., St. Petersburg 199034, Russia, i.loskutov@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-9250-7225

Elena V. Blinova, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.blinova@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-8898-4926

Liubov Yu. Novikova, Dr. Sci. (Agriculture), Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, l.novikova@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0003-4051-3671

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 25.03.2024; одобрена после рецензирования 27.05.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 25.03.2024; approved after reviewing on 27.05.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья
УДК 634.723.1:581.192:581.162.31(470.2)
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-120-134

CC BY

Сорта черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center (Эстония) в условиях Северо-Запада России

О. А. Тихонова, В. С. Попов

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ольга Анатольевна Тихонова, o.tikhonova@vir.nw.ru

Актуальность. Интродукция новых зарубежных сортов позволяет расширить пределы генетического потенциала коллекции ВИР. Всестороннее изучение привлеченных образцов важно для выделения источников ценных селекционных признаков и сортов для практического их использования.
Материалы и методы. Изучение 8 сортов селекции Polli Horticultural Research Center (Эстония) проводили в 2015–2023 гг. на коллекции черной смородины ВИР (научно-производственная база «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР»). Адаптивность сортов, оценку основных показателей продуктивности, качество ягод изучали в соответствии с традиционными методиками. Статистическая обработка полученных данных выполнена с использованием программы Microsoft Excel и методических указаний Б. А. Доспехова.
Результаты и выводы. Изученные сорта хорошо адаптированы к условиям Северо-Западного региона России. Условия теплообеспеченности Ленинградской области являются оптимальными для их возделывания. Хорошая адаптивность, стабильная урожайность, одновременность созревания и высокие вкусовые достоинства плодов обеспечивают возможность выращивания сортов ‘Almo’ (к-44169), ‘Albos’ (к-44167), ‘Elo’ (к-44171), ‘Karri’ (к-44172), ‘Mulgi Must’ (к-38061), ‘Musti’ (к-44173) и ‘Varmas’ (к-44174) в любительских садах на Северо-Западе России. Сорт ‘Karri’ может быть использован в селекции как источник хорошей самоплодности, крупноплодности, стабильной урожайности, гармоничного вкуса ягод, повышенного содержания сухих веществ, сахаров и антоцианов в плодах, устойчивости к американской мучнистой росе и почковому клещу. Сорт ‘Varmas’ является источником раннеспелости, высокой самоплодности, десертного вкуса ягод.

Ключевые слова: *Ribes* L., самоплодность, продуктивность, коэффициент плотности урожая, американская мучнистая роса, почковый клещ

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции».
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

***Для цитирования*:** Тихонова О.А., Попов В.С. Сорта черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center (Эстония) в условиях Северо-Запада России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):120-134. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-120-134

© Тихонова О.А., Попов В.С., 2024

COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-120-134

Black currant cultivars, developed at the Polli Horticultural Research Center (Estonia), in Northwest Russia

Olga A. Tikhonova, Vitaliy S. Popov

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Olga A. Tikhonova, o.tikhonova@vir.nw.ru

Background. Introduction of new foreign cultivars makes it possible to expand the limits of the genetic potential of the VIR collection. A comprehensive study of such germplasm accessions is important for identifying sources of traits useful for breeding and the best cultivars for practical utilization.
Materials and methods. Eight black currant cultivars released in Estonia were studied from 2015 through 2023 at Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR. Conventional methods were used to test their adaptability and assess their main productivity indicators and berry quality. The resulting data were statistically processed in Microsoft Excel according to the guidelines by B. A. Dospekhov.
Results and conclusion. The studied cultivars appeared well adapted to the environments of Northwest Russia. The heat supply in Leningrad Province is optimal for their cultivation. Good adaptability, synchronized fruit ripening, stable yields, and fine taste of berries were demonstrated by cvs. 'Almo' (k-44169), 'Albos' (k-44167), 'Elo' (k-44171), 'Karri' (k-44172), 'Mulgi Must' (k-38061), 'Musti' (k-44173), and 'Varmas' (k-44174). They are recommended for amateur gardens in Northwest Russia. Cv. 'Karri' (k-44172) is a promising source of such traits as good self-fertility, large fruit size, stable yield, well-balanced taste, high anthocyanin content in berries, and resistance to American powdery mildew and gall mite. Cv. 'Varmas' is a source of earliness, high self-fertility, and dessert taste of berries.

Keywords: *Ribes* L., self-fertility, productivity, fruiting density ratio, American powdery mildew, gall mite

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0004 "Improving the approaches and methods for *ex situ* conservation of the identified genetic diversity of vegetatively propagated crops and their wild relatives, and development of technologies for their effective utilization in plant breeding".
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

***For citation*:** Tikhonova O.A., Popov V.S. Black currant cultivars, developed at the Polli Horticultural Research Center (Estonia), in Northwest Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):120-134. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-120-134

Введение

Началом формирования генофонда черной смородины ВИР считается 1925 г., когда при Всесоюзном институте прикладной ботаники и новых культур была создана экспериментальная база «Красный Пахарь», ныне научно-производственная база (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР».

На первом этапе создания коллекция насчитывала лишь 39 сортов; основу ее составляли сорта зарубежной селекции, поступившие по заявкам из иностранных питомников.

В настоящее время генофонд черной смородины, сосредоточенный в НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», насчитывает 812 образцов, в том числе 529 сортообразцов, 153 дикорастущих формы 11 видов рода *Ribes* L., 85 гибридных сеянцев и 45 номерных образцов.

В коллекции наряду с современными отечественными и зарубежными сортами сохраняются в живом виде образцы, интродуцированные в самые первые годы сбора коллекции (1926–1928 гг.), а также сорта селекции предвоенных и первых послевоенных лет.

Зарубежные сорта составляют 18,1% от общего объема сортового генофонда. Они получены из научно-исследовательских учреждений 12 стран – Швеции, Финляндии, Великобритании, Шотландии, Канады, Нидерландов, США, Польши, Германии, Венгрии и др. В коллекции сохраняются также сорта из НИУ пяти стран ближнего зарубежья – Украины, Беларуси, Литвы, Латвии и Эстонии.

Одним из наиболее приоритетных направлений работы, наряду с мобилизацией и сохранением образцов, является их изучение с целью выделения исходного материала для последующего использования в селекции и лучших сортов для производства и любительского садоводства.

Сфера исследований включает изучение биологии цветения и плодоношения, оценку адаптивности сортов к биотическим и абиотическим факторам среды, изучение биохимического состава плодов и их вкусовых качеств, вопросы криогенного хранения образцов и др.

В 2009 г. в коллекцию черной смородины ВИР были интродуцированы новые сорта селекции Polli Horticultural Research Center (Эстония).

В литературе имеются сведения об изучении этих сортов в странах Балтии – Эстонии и Литве, однако они не содержат данных по комплексному их изучению и либо посвящены исследованию отдельных признаков по ряду сортов, либо включают сведения об адаптивности и качестве ягод единичных сортов. Так, в работе А. Саснаускаса и др. (Sasnauskas et al., 2013) в числе изученных сортов проведена оценка лишь одного сорта эстонской селекции (‘Almo’) по устойчивости к грибным болезням, продуктивности, величине ягод и их биохимическому составу. В статье A. Kikas et al. (2020) содержатся сведения по уровню накопления полифенолов и антоцианов в плодах сортов‘Almo’, ‘Ats’, ‘Elo’, ‘Karri’ и ‘Varmas’ в условиях Эстонии. В обзорной статье Laila Ikase (Ikase, 2015) приведен лишь перечень новых сортов эстонской селекции с указанием их хозяйственно ценных признаков.

В литературе отсутствуют данные о биологических особенностях новых сортов селекции института Polli и возможности их возделывания на Северо-Западе России, в связи с чем *целью нашей работы* явилось всестороннее изучение сортов черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center (Эстония) в условиях Ленинградской области, определение их адаптивности и возможности выращивания в Северо-Западном регионе России, а также выделение источников важных хозяйственно ценных признаков из числа изученных сортов для возможного использования в селекции.

Материалы и методы

Изучение сортов селекции Polli Horticultural Research Center (Эстония) проводили в 2015–2023 гг. на коллекции черной смородины научно-производственной базы (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», расположенной в 30 км к югу от Санкт-Петербурга.

Определение сроков наступления основных фенологических фаз, оценку зимостойкости, устойчивости к болезням и вредителям, самоплодности и продуктивности сортов, коэффициента плотности урожая, изучение морфометрических параметров ягод и кистей проводили по общепринятым методикам (Lobanov, 1973; Sedov, Ogoltsova, 1999). Величину средней массы ягоды определяли путем взвешивания средней пробы из 100 ягод.

При изучении морфометрических показателей продуктивности проводили не менее 10–15 измерений по каждому сорту в течение трех лет. Коэффициент плотности урожая определяли путем деления общего веса ягод с куста в килограммах на объем куста, выраженный в кубических метрах. Содержание питательных и биологически активных веществ в ягодах анализировали в лаборатории биохимии и молекулярной биологии Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) по методикам, принятым в лаборатории (Ermakov et al., 1987). В качестве контроля при оценке биохимического состава плодов использовали сорта ‘Нара’ (раннеспелый) и ‘Бинар’ (созревающий в средние сроки).

По сорту ‘Musti’ не приведены результаты изучения степени самоплодности и биохимического состава ягод, поскольку мы располагаем лишь однолетними данными.

Сумму сахаров и олигосахаридов определяли спектрофотометрическим методом с помощью калибровочных кривых, построенных по растворам глюкозы. Для определения сахаров использовали растворы соляной кислоты и глицерата меди, центрифугу Centrifuge type MPW-310 (Польша), спектрофотометр LKB Biochrom NOVASPEC II (Великобритания). **Общую (титруемую) кислотность** – методом титрования известного объема экстракта раствором 0,1 М щелочи в присутствии индикатора (значения выражали в процентах яблочной кислоты, используя коэффициент пересчета 0,0067). **Аскорбиновую кислоту** – титриметрическим методом с краской Тильманса, используя опубликованный модифицированный метод (Popov, Smyatskaya, 2020). Удаление пигментов, мешающих определению витамина, осуществляли с помощью каолина и центрифуги Centrifuge type MPW-310 (Польша). **Сухое вещество** – воздушно-тепловым методом, основанным на взвешивании части измельченной средней пробы до и после высушивания при температуре 100–102°С до постоянной массы с использованием сушильного шкафа MEMMERT UNPlus160 (Германия). **Сумму антоцианов** – спектрофотометрическим методом в соответствии с методикой Л. И. Бутенко и Ж. И. Подгорной (Butenko, Podgornaya, 2016). Для определения суммы антоциановых пигментов использовали 1-процентный раствор соляной кислоты, центрифугу

Centrifuge type MPW-310 (Польша), спектрофотометр LKB Biochrom NOVASPEC II (Великобритания).

Характеристика метеорологических данных в годы исследования была предоставлена отделом автоматизированных информационных систем (АИС) ВИР. Статистическую обработку данных проводили на основе методов статистики с использованием однофакторного дисперсионного анализа в пакете программ Microsoft Office Excel и методических указаний Б. А. Доспехова (Dospekhov, 1985).

Объектами изучения служили 8 сортов черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center (Эстония) (табл. 1).

Результаты и обсуждение

Зимостойкость

Суровые зимы в Северо-Западном регионе России случаются с периодичностью примерно раз в десять лет. Они не являются критичными для перезимовки растений черной смородины. Существенную опасность в этом регионе представляют возвратные весенние заморозки и чередование низких минусовых температур с оттепелями, при которых повреждаются генеративные органы растений.

За годы наблюдений у изучаемых сортов не было отмечено подмерзаний вегетативных органов. В 2017 г. во

Таблица 1. Объекты исследования и их происхождение
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2015–2023 гг.)

Table 1. Cultivars selected for the study and their origin
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2015–2023)

Название сорта / Cultivar name	Номер по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Год создания / Year of release	Генетическое происхождение / Genetic origin	Генетическая группа* / Genetic group*
‘Albos’	44167	1956	‘Boskoop Giant’ × 20-24 (‘Saunders’ × ‘Ойрот-Тура’)	ES
‘Almo’	44169	1990	‘Кантата-50’ × ‘Öjebyn’	ESDSk
‘Ats’	44166	1990	‘Öjebyn’ × ‘Varmas’	ESSk
‘Elo’	44171	1990	‘Öjebyn’ × ‘Кантата-50’	ESDSk
‘Karri’	44172	1990	‘Mulgi Must’ × ‘Кантата-50’	ESD
‘Mulgi Must’	38061	1956	‘Polli Pikk-kobar’ × ‘Uus must’	ES
‘Musti’	44173	1954	‘Uus Must’ × неизвестный сорт	S
‘Varmas’	44174	1970	‘Albos’ × ‘Uus Must’	ES

Примечание: * **E** – *Ribes nigrum* subsp. *europaeum* Jancz.; **S** – *R. nigrum* subsp. *sibiricum* E. Wolf; **D** – *R. dikuscha* Fisch. ex Turcz.; **Sk –** скандинавский экотип *R. nigrum* L.

Note: * **E** – *Ribes nigrum* subsp. *europaeum* Jancz.; **S** – *R. nigrum* subsp. *sibiricum* E. Wolf; **D** – *R. dikuscha* Fisch. ex Turcz.; **Sk –** Scandinavian ecotype of *R. nigrum* L.

Сорта были интродуцированы в 2009 г. в виде одревеснevших черенков, выращены в теплице НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» и высажены в коллекцию в 2011 г. в количестве 3–5 растений по каждому сорту. Схема посадки – 1 × 3 м.

Из сортов, включенных в исследование, два сорта – ‘Karri’ (к-44172) и ‘Varmas’ (к-44174) – входят в рекомендованный для выращивания в Эстонии сортимент плодовых культур (https://sordivaramu.emu.ee/kategooria.php?mis=soovitussortiment) и рекомендуются для любительского и промышленного садоводства (Libek et al., 2007). Сорт ‘Mulgi Must’ (к-38061) находился в районированном сортименте Эстонии с 1984 по 2001 г. (Kikas et al., 2008).

По своему генетическому происхождению изучаемые сорта относятся к пяти генетическим группам, в геноме которых содержатся в различном сочетании гены европейского (*Ribes nigrum* subsp. *europaeum* Jancz.), сибирского (*R. nigrum* subsp. *sibiricum* E. Wolf) подвидов смородины черной, смородины дикуши (*R. dikuscha* Fisch. ex Turcz.) и скандинавского экотипа *R. nigrum* L. (см. табл. 1).

время распускания молодых листьев произошло внезапное резкое похолодание, которое вначале не нанесло ощутимого вреда растениям, но при наступлении второй волны холодов, продержавшейся довольно длительное время, произошло подмерзание генеративных органов у ряда сортов (табл. 2).

В особенной степени это коснулось сортов ‘Ats’ (к-44166), ‘Musti’ (к-44173) и ‘Varmas’, у которых наблюдались значительные повреждения бутонов. Очень слабое подмерзание единичных бутонов и цветков отмечено у сортов ‘Albos’ (к-44167), ‘Almo’ (к-44169), ‘Karri’ и ‘Mulgi Must’.

В Эстонии, по данным K. Kask et al. (2010), сорт ‘Ats’, напротив, проявляет устойчивость к весенним заморозкам.

Основные фенологические фазы сезонного развития

Самые ранние сроки наступления основных фенологических фаз у изученных сортов отмечены в 2016 г., самые поздние – в 2017 г. Так, начало цветения в 2016 г. наблюдалось в первой декаде мая, созревание ягод также

Таблица 2. Степень повреждения генеративных органов черной смородины при весенних заморозках в 2017 г. (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР»)

Table 2. Degrees of damage to generative organs of black currant after spring frosts in 2017 (Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR)

Степень подмерзания генеративных органов, % / Degrees of damage by freezing on generative organs, %		
80–90%	**< 50%**	**Единичное / Occasional**
‘Ats’, ‘Musti’, ‘Varmas’	‘Elo’	‘Albos’, ‘Almo’, ‘Karri’, ‘Mulgi Must’

началось в ранние сроки – у сорта ‘Varmas’ плоды начали окрашиваться 26 июня; у остальных сортов – в первой декаде июля. В 2017 г. начало цветения отмечено в середине третьей декады мая, созревание – лишь в конце июля.

В среднем вегетация большинства изученных сортов эстонской селекции начинается 9 апреля при достижении суммы активных (выше +5°С) температур 24,4°С. Разница в сроках наступления данной фенофазы между изученными сортами составляет 3–5 дней. У сортов ‘Karri’ и ‘Ats’ выдвижение зеленого конуса листьев происходит в среднем 12 апреля при наступлении суммарного количества тепла 34,7–41,4°С. Позже всех начинает вегетировать сорт ‘Mulgi Must’, у которого почки начинают раскрываться в среднем 14 апреля при накоплении 51,8°С тепла (табл. 3).

Спустя 30–38 дней после начала вегетации, 14–18 мая, у изученных сортов начинается цветение. Раньше всех начинают раскрываться цветки у сорта ‘Varmas’, позже всех – у сортов ‘Elo’ (к-44171) и ‘Albos’. Для начала этой фенофазы необходимо накопление Σ активных температур 264,8–321,3°С.

Самая небольшая продолжительность межфазного периода (30 дней) от начала вегетации до начала цветения отмечена у сорта ‘Mulgi Must’, самая длительная (38 дней) – у сорта ‘Almo’.

Через 52–60 дней от начала цветения наступает фенофаза «начало созревания». При этом длительность межфазного периода для сортов ‘Ats’ и ‘Varmas’ составляет 52 и 53 дня соответственно; у сортов ‘Karri’, ‘Musti’ и ‘Mulgi Must’ этот период наиболее продолжительный – 58–60 дней.

Ягоды раннего сорта ‘Varmas’ начинают окрашиваться в конце третьей декады июня – первой декаде июля (в среднем 6 июля) при накоплении суммарного количества тепла 1059,9°С. Спустя непродолжительное время (3–4 дня) начинается созревание у сортов ‘Ats’ и ‘Elo’. Созревание остальных сортов наступает в среднем 12–13 июля при 1218,9–1247,3°С.

Самый продолжительный период от начала вегетации до начала созревания плодов – у сортов ‘Varmas’ и ‘Mulgi Must’ (88 и 94 дня соответственно).

Сорт ‘Mulgi Must’ характеризуется самой короткой продолжительностью межфазного периода «начало вегетации – начало цветения» (30 дней), но при этом самым длительным сроком от начала распускания первых цветков в кисти до начала созревания ягод (60 дней) и от появления зеленого конуса до начала окрашивания ягод (94 дня).

Таблица 3. Сроки наступления основных фенологических фаз у сортов черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2016–2022 гг.)

Table 3. Onset timing for the main phenological phases of black currant cultivars developed at the Polli Horticultural Research Center (Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2016–2022)

Название сорта / Cultivar name	Начало вегетации, дата / Start of the growing season, date	Σ активных температур (выше +5°С), град. / Σ of active temperatures (above +5°C), °C	Начало цветения, дата / Onset of flowering, date	Σ активных температур (выше +5°С), град. / Σ of active temperatures (above +5°C), °C	Начало созревания, дата / Onset of ripening, date	Σ активных температур (выше +5°С), град. / Σ of active temperatures (above +5°C), °C
‘Karri’	12.IV	41,4	16.V	289,9 ± 20,2	13.VII	1241,2 ± 45,2
‘Elo’	09.IV	24,3	18.V	321,3 ± 30,3	11.VII	1218,9 ± 49,8
‘Ats’	12.IV	34,7	16.V	298,8 ± 28,3	10.VII	1201,0 ± 65,9
‘Musti’	09.IV	24,4	15.V	278,9 ± 23,8	13.VII	1203,4 ± 29,8
‘Almo’	09.IV	24,4	17.V	270,7 ± 25,6	12.VII	1237,5 ± 47,3
‘Mulgi Must’	14.IV	51,8	15.V	270,4 ± 20,9	13.VII	1247,3 ± 50,0
‘Varmas’	09.IV	24,4	14.V	264,8 ± 23,7	06.VII	1059,9 ± 37,1
‘Albos’	09.IV	24,4	18.V	316,3 ± 31,2	13.VII	1249,9 ± 59,1

Проведенные фенологические наблюдения показали, что в условиях Ленинградской области все изученные сорта характеризуются дружным, одновременным созреванием ягод. Сорт 'Varmas' относится к группе рано созревающих сортов. Созревание ягод у сортов 'Ats' и 'Elo' происходит в ранне-средние сроки. Ягоды остальных изученных сортов достигают съемной зрелости в средние сроки.

Самоплодность сорта является очень важной его характеристикой. Она имеет большое значение, особенно в тех регионах возделывания смородины, где во время цветения складываются неблагоприятные погодные условия для опыления цветков насекомыми-опылителями.

Оценка степени самоплодности эстонских сортов показала, что завязываемость ягод при естественном самоопылении варьировала от 25,9 до 59,9%. К числу высокосамоплодных (с завязываемостью ягод при естественном самоопылении > 50%) относятся сорта 'Varmas', 'Almo' и 'Albos' (табл. 4).

ном опылении, составила в зависимости от сорта от 10,8 до 50,2%. Наиболее близкими по значению величины завязываемости ягод в этих двух вариантах опыления были у сортов 'Almo' и 'Albos'; наибольшая разница наблюдалась у сортов 'Elo' (35,1%) и 'Ats' (50,2%).

Стабильные значения уровня самоплодности (V = 5,1%) были характерны для сорта 'Karri'. Средняя вариабельность признака (V = 10,8%) отмечена у среднесамоплодного сорта 'Ats'. У остальных изученных сортов наблюдалась значительная изменчивость параметра в зависимости от условий года (V = 23,6–34,4%).

Морфометрические параметры ягод и кистей

Масса ягоды и длина кисти являются важными характеристиками сорта, поскольку они, наряду с зимостойкостью и устойчивостью к патогенам, во многом определяют его продуктивность.

Одним из наиболее значимых показателей в характеристике сорта является масса ягоды. Проведенные исследования показали, что средняя масса ягоды в зависимости от сорта варьировала от 0,97 до 1,57 г. Наиболее

Таблица 4. Самоплодность сортов черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2016–2018 гг.)

Table 4. Self-fertility of black currant cultivars developed at the Polli Horticultural Research Center
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2016–2018)

Название сорта / Cultivar name	Завязываемость ягод (%) при: / Berry setting (%) under:		
	естественном самоопылении / natural self-pollination	искусственном самоопылении / artificial self-pollination	свободном опылении / free pollination
'Varmas'	59,9 44,4–73,3	92,7 78,0–100,0	81,9 48,8–83,8
'Almo'	55,1 39,1–50,9	77,1 50,0–68,2	65,9 57,3–81,7
'Albos'	54,1 35,1–79,2	74,6 54,5–85,7	68,5 62,7–77,6
'Elo'	48,1 44,8–48,1	79,7 62,5–96,9	83,2 81,7–84,7
'Karri'	44,9 42,3–46,7	74,7 62,5–86,8	61,8 54,3–67,6
'Mulgi Must'	40,6 28,0–53,1	84,6 88,1–100,0	68,6 63,0–78,4
'Ats'	25,9 20,4–27,8	69,9 58,8–78,1	76,1 61,2–91,3
$НСР_{05}$	**27,3**	**28,9**	**7,7**

Сортами с хорошей самоплодностью, формирующими 40,6–48,1% ягод без участия насекомых-опылителей, являются 'Elo', 'Karri' и 'Mulgi Must'. Сорт 'Ats' отнесен к числу среднесамоплодных.

Завязываемость ягод при искусственном самоопылении была высокой – 69,9–92,7%. Высокая завязываемость ягод при этом способе опыления свидетельствует о высокой самофертильности изученных сортов.

При свободном опылении завязываемость ягод варьировала в пределах 61,8–81,9%. Разница между количеством ягод, завязавшихся при автогамии и свободном

крупноплодным является сорт 'Karri', который имеет очень высокую среднюю массу ягоды (> 1,5 г). Остальные изученные сорта относятся к разряду крупноплодных, за исключением сорта 'Ats', средняя масса ягоды которого составила 0,97 г. (табл. 5).

В Эстонии, по данным A. Libek et al. (2007), A. Kikas et al. (2008), K. Kask et al. (2010), масса ягоды сортов 'Karri', 'Mulgi Must' и 'Albos' близка по величине к данным, полученным нами. У сортов 'Almo', 'Ats', 'Elo' и 'Varmas' она была больше на 0,23–0,44 г по сравнению с нашими наблюдениями в Северо-Западном регионе России. В Латвии мас-

Таблица 5. Морфометрические показатели ягод и кистей сортов черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2016–2019 гг.)

Table 5. Morphometric indicators for berries and bunches of black currant cultivars developed at the Polli Horticultural Research Center (Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2016–2019)

Название сорта / Cultivar name	Средняя масса ягоды, г / Average berry weight, g	Средняя масса крупных ягод, г / Average weight of large berries, g	Диаметр ягоды, см / Berry diameter, cm	Длина кисти, см / Bunch length, cm	Количество ягод в кисти, шт. / Number of berries per bunch, pcs.
'Karri'	1,57 ± 0,18	1,98 ± 0,20	1,41 ± 0,06	5,1 ± 0,62	7 ± 0,67
'Varmas'	1,26 ± 0,02	1,69 ± 0,14	1,27 ± 0,03	4,6 ± 0,70	6 ± 0,60
'Musti'	1,11 ± 0,22	1,61 ± 0,37	1,19 ± 0,06	4,1 ± 0,90	7 ± 1,50
'Albos'	1,08 ± 0,02	1,57 ± 0,12	1,25 ± 0,02	4,7 ± 0,49	7 ± 0,01
'Almo'	1,06 ± 0,11	1,25 ± 0,16	1,19 ± 0,07	5,3 ± 0,79	6 ± 0,67
'Elo'	1,03 ± 0,09	1,31 ± 0,13	1,19 ± 0,08	5,3 ± 0,80	5 ± 0,60
'Mulgi Must'	1,02 ± 0,01	1,20 ± 0,19	1,22 ± 0,03	4,6 ± 0,13	6 ± 0,33
'Ats'	0,97 ± 0,06	1,55 ± 0,24	1,19 ± 0,03	3,0 ± 0,40	5 ± 0,33
$НСР_{05}$	**0,44**	**0,55**	**0,16**	**1,76**	**2,11**

са ягоды сорта 'Almo' составила 0,95 г (Sasnauskas et al., 2013), то есть практически имела почти такие же значения, как и в нашем исследовании (см. табл. 5).

Для сортов 'Albos', 'Varmas' и 'Ats' была характерна слабая изменчивость признака по годам. У сортов 'Elo' и 'Musti' величина коэффициента вариации была значительной – 21,1 и 27,0% соответственно. Остальные сорта имели среднюю изменчивость показателя в зависимости от условий года (V = 10,3–16,1%).

Средняя масса наиболее крупных ягод находилась в пределах 1,20–1,98 г. Как и в первом случае, максимальная величина массы ягоды была характерна для сорта 'Karri', наименьшая – для сорта 'Mulgi Must'. Остальные сорта имели достаточно высокую величину крупных ягод – 1,25–1,69 г. Средняя масса крупных ягод сорта 'Ats' также была значительной – 1,55 г.

Диаметр ягоды составил 1,19–1,41 см. Наиболее крупноплодные сорта имели и большую величину ягоды. Между этими признаками существует высокая положительная корреляция (r = 0,95). Показатель «диаметр ягоды» имел наибольшую стабильность по годам. Величина коэффициента вариации (V) в зависимости от сорта находилась в пределах 3,9–9,2%.

Длина кисти изученных сортов варьировала от 3,0 до 5,3 см. Кисти средней длины (> 5 см) имели сорта 'Karri', 'Elo' и 'Almo' (см. табл. 5, рис. 1). В Эстонии сорт 'Almo' характеризуется длиннокистностью (Kask et al., 2010). В условиях Ленинградской области длина кисти данного сорта в годы исследования варьировала от 5,6 до 6,5 см. В 2017 г. после весенних заморозков произошло опадение бутонов и молодых формирующихся завязей, и длина кисти составила лишь 3,8 см.

Сорт 'Ats' характеризовался короткими кистями, длина которых составила в среднем 3 см (рис. 2).

Вариабельность длины кисти в зависимости от сорта была различной. Сорт 'Mulgi Must' имел стабильные значения показателя (V = 4,8%). Средней степенью изменчивости параметра характеризовались сорта 'Ats' и 'Albos' (V = 11,5–18,3%). У остальных изученных сортов наблюдалась значительная изменчивость признака (V = 21,3–26,0%). Наиболее высокой она была у сорта 'Musti' (V = 30,9%). Изученные сорта содержали в среднем 6–7 ягод на кисть. По 5 ягод в кисти формировали сорта 'Elo' и 'Ats'.

Продуктивность – комплексный показатель, который определяется многими факторами. Основными из них являются: количество плодоносящих побегов, длина междоузлий, количество плодоносящих узлов на побеге, многокистность узлов, количество ягод в кисти, масса ягоды (Knyazev, Ogoltsova, 2004).

Проведенные исследования показали, что для всех изученных сортов характерно формирование очень большого количества (> 25) *плодоносящих побегов* (табл. 6). При этом сорта 'Karri' и 'Elo' обладают способностью к быстрому формированию высокорослых, мощных растений. Все изученные сорта, за исключением сорта 'Varmas', имеют хороший прямостоячий габитус куста.

Количество плодоносящих узлов на побеге варьировало от 59,3 до 83,8%. Наименьшее их количество содержали сорта 'Albos' и 'Varmas', наибольшее – 'Mulgi Must' (73,8%) и 'Musti' (83,8%); у остальных сортов процент плодоносящих узлов на побеге составил 60,8–63,3% (см. табл. 6).

Многокистность узлов. Из числа изученных сортов самое большое количество двойных кистей в узле содержал сорт 'Mulgi Must' (рис. 3). У сортов 'Almo' и 'Varmas' (см. рис. 3) количество образующихся многокистных узлов на побеге составило 14,0 и 14,5% соответственно (см. табл. 6). Остальные сорта в основном формировали по одной кисти в узле.

Величина потенциальной продуктивности изученных сортов варьировала от 0,7 до 3,56 кг/куст (см. табл. 6). Наиболее высокий потенциал продуктивности имели сорта 'Karri', 'Musti' и 'Mulgi Must'.

Фактическая продуктивность сортов составила 0,53–1,95 кг/куст. Самой низкой продуктивностью характеризовался сорт 'Ats'; самой высокой – сорт 'Karri'. Остальные



‘Karri’ ‘Elo’ ‘Almo’

Рис. 1. Сорта черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center
Fig. 1. Black currant cultivars developed at the Polli Horticultural Research Center

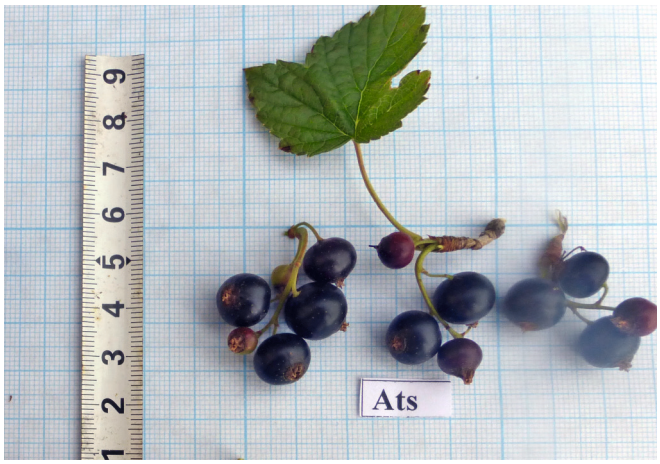


Рис. 2. Длина кисти у сорта черной смородины ‘Ats’
Fig. 2. Bunch length of black currant cv. ‘Ats’



‘Mulgi Must’ ‘Varmas’

Рис. 3. Сорта черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center
Fig. 3. Black currant cultivars developed at the Polli Horticultural Research Center

Таблица 6. Компоненты продуктивности и уровень продуктивности сортов черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2020–2023 гг.)

Table 6. Productivity components and productivity levels of black currant cultivars developed at the Polli Horticultural Research Center (Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2020–2023)

Сорт / Cultivar	Количество / Number of			% многокистных узлов / % of nodes with more than one bunch	Средняя масса ягоды, г / Average berry weight, g	Продуктивность, кг/куст / Productivity, kg/bush		% соответствия / % of compliance
	плодоносящих побегов, шт. / fruiting shoots, pcs.	узлов с плодоношением, % / fruited nodes, %	ягод в кисти, шт. / berries per bunch, pcs.			потенциальная / potential	фактическая / factual	
'Karri'	36 ± 1,0	63,3	7 ± 0,7	0,0	1,57 ± 0,1	3,56	1,95	54,8
'Musti'	29 ± 1,0	83,8	7 ± 1,5	7,6	1,11 ± 0,2	3,38	1,45	42,9
'Mulgi Must'	32 ± 0,1	73,8	6 ± 0,3	33,1	1,02 ± 0,01	3,06	1,30	42,5
'Varmas'	32 ± 7,0	55,3	6 ± 0,6	14,5	1,26 ± 0,02	2,13	1,30	61,9
'Albos'	27 ± 4,5	58,2	7 ± 0,01	0,0	1,08 ± 0,02	1,84	1,20	65,2
'Almo'	29 ± 2,5	60,8	6 ± 0,7	14,0	1,06 ± 0,11	1,42	1,25	67,9
'Elo'	33 ± 2,5	62,9	5 ± 0,6	8,7	1,03 ± 0,09	1,28	1,10	92,4
'Ats'	29 ± 1,3	59,3	5 ± 0,3	0,0	0,97 ± 0,06	0,70	0,53	75,7
$НСР_{05}$	12,2	21,7	2,11		0,44		0,77	

сорта имели среднюю, но стабильную продуктивность (см. табл. 6).

В Эстонии продуктивность сортов 'Albos' и 'Varmas' составила 1,8 и 1,9 кг ягод/куст соответственно (Kikas et al., 2008), то есть была выше, чем на Северо-Западе России, на 0,6 кг. Высокую продуктивность (2,2 кг/куст) в Эстонии показывает и сорт 'Karri' (Kikas et al., 2019). Величина продуктивности этого сорта в Северо-Западном регионе России лишь на 0,25 кг ниже, чем в Эстонии. В Латвии величина продуктивности сорта 'Almo' варьировала от 0,45 до 1,07 кг/куст (Sasnauskas et al., 2013). В условиях Ленинградской области этот сорт формировал 1,25 кг/куст.

Сопоставление величин потенциальной и фактической продуктивности показало, что наиболее высокий уровень соответствия наблюдается у сортов 'Elo' и 'Almo' и у низкопродуктивного сорта 'Ats'. Потенциально высокопродуктивные сорта 'Karri', 'Musti' и 'Mulgi Must' в условиях Ленинградской области реализуют свой потенциал лишь наполовину (см. табл. 6, рис. 4).

Для более полной оценки потенциальных возможностей сорта также подсчитывали коэффициент плотности урожая, позволяющий учитывать размеры куста (табл. 7).

Коэффициент плотности урожая изученных сортов составил 0,53–1,26 кг/м^3 (см. табл. 7). В соответствии с градацией сортов по данному признаку, приведенной в методических указаниях (Lobanov, 1973), все изученные сорта, за исключением сортов 'Elo' и 'Ats', относятся к группе сортов со средней плотностью урожая. Сорт 'Elo' из-за большого объема куста имеет почти такой же низкий коэффициент плотности урожая, как и сорт 'Ats', которого отличают небольшие размеры куста. Оба сорта в условиях Ленинградской области характеризуются низкой плотностью урожая.

Качество ягод

Плоды изученных сортов крупные, имеют привлекательный внешний вид и хорошую транспортабельность. Ягоды при сборе легко отделяются от плодоножки. В то же время при легком отрыве у них не наблюдается осыпаемости ягод. У сорта 'Elo' может слегка разрываться кожица плодов при сборе перезревших ягод.

Все изученные сорта обладают очень хорошим, гармоничным вкусом; у сортов 'Elo' и 'Varmas' ягоды имеют вкус с преобладанием сладости. Отличный вкус плодов имеет и сорт 'Karri'.

Химический состав ягод

Проведенное изучение химического состава ягод не выявило больших различий по уровню накопления питательных и биологически активных веществ в плодах изученных сортов (табл. 8).

Содержание в плодах сухих веществ составило в среднем 21,8%. Крайние значения показателя наблюдались у контрольных сортов: у сорта 'Нара' отмечено самое

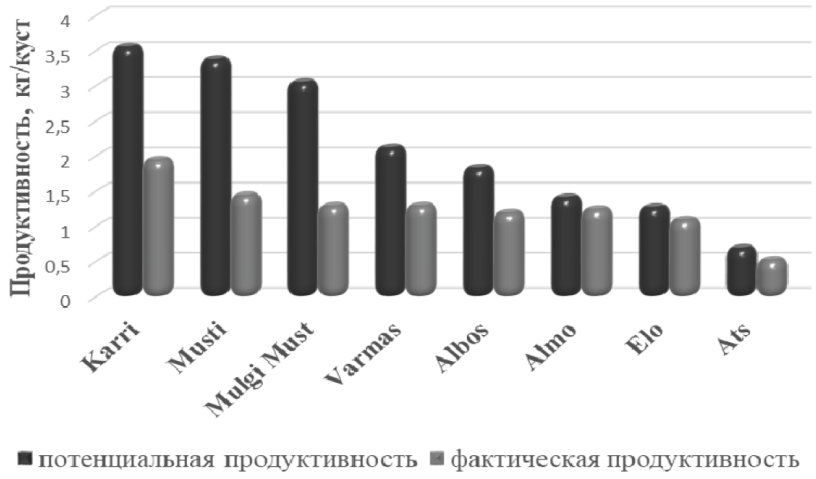


Рис. 4. Уровень продуктивности сортов черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2020–2023 гг.)

Fig. 4. Productivity levels of black currant cultivars developed at the Polli Horticultural Research Center (Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2020–2023)

Табл. 7. Коэффициент плотности урожая сортов черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2021–2023 гг.)

Table 7. Fruiting density ratios of black currant cultivars developed at the Polli Horticultural Research Center (Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2021–2023)

Сорт / Cultivar	Продуктивность, кг/куст / Productivity, kg/bush	Объем куста, м³ / Bush volume, m³	Коэффициент плотности урожая, кг/м³ / Fruiting density ratio, kg/m³
‘Varmas’	1,30 ± 0,05	1,03 ± 0,07	1,26 ± 0,02
‘Musti’	1,45 ± 0,01	1,24 ± 0,07	1,17 ± 0,03
‘Mulgi Must’	1,30 ± 0,10	1,33 ± 0,10	0,98 ± 0,01
‘Almo’	1,25 ± 0,05	1,29 ± 0,10	0,97 ± 0,03
‘Karri’	1,95 ± 0,15	2,03 ± 0,14	0,96 ± 0,09
‘Albos’	1,20 ± 0,05	1,40 ± 0,05	0,86 ± 0,07
‘Elo’	1, 05 ± 0,05	1,96 ± 0,21	0,54 ± 0,03
‘Ats’	0,60 ± 0,03	1,14 ± 0,05	0,53 ± 0,05

низкое значение показателя (18,6%), у сорта ‘Бинар’ – самое высокое (24,9%). Для всех изученных сортов эстонской селекции был характерен высокий и стабильный уровень накопления указанных веществ (V = 0,5–10,0%).

Содержание сахаров находилось в пределах 7,4–13,9% при среднем значении 10,8%. Самый минимальный уровень показателя отмечен у контрольного сорта ‘Нара’, созревающего в ранние сроки. Раннеспелый сорт ‘Varmas’ по сравнению с контролем накапливал сахаров больше на 3,0%. По уровню накопления сахаров параметрам идеального сорта (содержание сахаров > 10%) отвечают сорта ‘Elo’, ‘Albos’, ‘Varmas’, ‘Karri’ и ‘Mulgi Must’.

В условиях Эстонии средний уровень содержания сахаров, по данным A. Kikas et al. (2008) и K. Kask (2010), был невысоким и составил в среднем 7,6%. Самым высоким уровнем накопления сахаров (8,2%) характеризовался сорт ‘Varmas’. Содержание сахаров у сортов ‘Elo’, ‘Karri’ и ‘Mulgi Must’ составило 7,7%.

Вариабельность данного параметра на Северо-Западе России была небольшой (V = 2,6–10,0%), лишь у двух сортов – ‘Almo’ и ‘Karri’ – наблюдалась средняя изменчивость признака (V = 11,7 и 18,6% соответственно). Содержание олигосахаров незначительно у всех изученных сортов, а наиболее низкое отмечено у сорта ‘Albos’.

Уровень накопления титруемых кислот в ягодах изученных сортов варьировал от 2,2 до 3,3% при среднем содержании 2,7%. Высокими значениями показателя характеризовались контрольные сорта ‘Нара’ и ‘Бинар’. Все остальные изученные сорта содержали менее 3% органических кислот и, соответственно, отвечали параметрам модели идеального сорта по этому признаку. Сорта ‘Elo’ и ‘Albos’ показали стабильные значения параметра (V = 3,6–7,7% соответственно). Для сортов ‘Karri’ и ‘Almo’ была характерна средняя изменчивость уровня накопления кислот. Значительная изменчивость показателя в зависимости от условий года наблюдалась у сортов ‘Mulgi Must’ и ‘Ats’ (V = 29,4 и 30,4% соответственно).

Таблица 8. Биохимический состав ягод сортов черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2019–2023 гг.)

Table 8. Biochemical compounds in berries of black currant cultivars developed at the Polli Horticultural Research Center
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2019–2023)

Сорт / Cultivar	Сахара, % / Sugars, %		Кислотность,% / Acidity, %	Сахарокислотный коэффициент / Sugar/acid ratio	Сухие вещества, % / Dry substances, %	Аскорбиновая кислота, мг% / Ascorbic acid, mg%	Антоцианы*, мг% / Anthocyanins*, mg%
	всего / total	в т. ч. олигосахариды / incl. oligosaccharides					
‘Бинар’ (контроль)	13,9 12,9–14,8	1,04 0,9–1,1	3,3 2,5–4,3	4,4 3,4–5,7	24,9 22,1–26,8	265,9 204,5–312,3	1402,5 1021,7–1823,0
‘Elo’	11,6 10,6–12,4	1,28 0,8–1,3	2,3 2,2–2,3	5,2 4,6–5,7	23,1 21,4–24,9	174,4 123,4–232,8	1923,3 1203,0–3280,2
‘Albos’	10,5 9,8–11,4	0,58 0,3–0,9	2,5 2,3–2,6	4,2 3,7–5,0	20,9 19,9–21,6	142,8 98,2–224,5	1716,3 1353,2–2331,7
‘Varmas’	10,4 9,3–11,5	0,99 0,6–1,5	2,9 2,4–3,4	3,6 2,8–4,8	20,9 19,6–23,3	138,9 125,6–152,3	967,7 475,1–1551,5
‘Karri’	11,1 8,7–12,3	1,0 0,6–1,3	2,2 1,9–2,6	4,9 4,0–6,3	22,7 20,3–24,9	136,7 113,9–176,1	2085,8 864,3–3975,4
‘Almo’	9,7 8,9–10,9	0,91 0,4–1,4	2,7 2,5–3,1	3,6 2,9–4,4	20,6 18,5–21,9	132,3 105,1–154,9	2053,7 1660,3–2304,3
‘Ats’	9,4 7,8–10,5	0,97 0,2–1,4	2,8 2,1–3,3	3,5 2,6–4,9	19,8 18,8–20,8	132,3 92,5–182,3	2243,6 1869,8–2681,4
‘Mulgi Must’	13,2 10,6–13,4	1,30 0,1–1,8	2,4 1,9–2,9	5,9 3,9–7,2	24,8 24,7–25,0	101,3 95,5–192,6	1580,6 1220,6–1940,6
‘Нара’ (контроль)	7,4 5,4–8,3	0,60 0,2–1,0	3,1 2,7–3,5	2,4 1,6–2,9	18,6 17,4–20,4	96,7 85,9–114,0	1858,4 1567,3–2319,8
среднее	10,8	0,96	2,7	4,2	21,8	146,8	1759,1
min	5,4	0,1	1,9	1,6	17,4	85,9	475,1
max	14,8	1,8	4,3	7,2	26,8	312,3	3975,4

Примечание: * – значения приведены на сухое вещество

Note: * – the values are given for dry matter

В Эстонии диапазон изменчивости уровня общих кислот составил 2,0–3,3% при среднем содержании 2,65 (Kikas et al., 2008; Kask, 2010). Низкое содержание данного компонента (2,0%) и значения параметра, близкие к данным, полученным нами, имели ягоды сортов 'Karri' и 'Elo'. Сорт 'Varmas' в условиях Эстонии, напротив, характеризовался более высоким содержанием общих кислот (3,3%), чем на Северо-Западе России.

Сахарокислотный коэффициент, как один из основных показателей вкусовых качеств плодов, был наиболее высок у сортов 'Elo', 'Mulgi Must' и 'Karri' (см. табл. 8).

Уровень накопления аскорбиновой кислоты в плодах составил в среднем 146,8 мг% при вариабельности параметра от 96,7 до 265,9 мг%, отмеченных у контрольных сортов 'Нара' и 'Бинар' (см. табл. 8). Изученные сорта характеризовались средним содержанием витамина С. Наиболее высокие показатели были характерны для сорта 'Elo' (174,4 мг%) (см. табл. 8).

Вариабельность уровня С-витаминности составила в среднем 22,8%. Стабильностью показателя (V = 8,1%) характеризовался лишь один сорт – 'Mulgi Must'. У сортов 'Varmas', 'Almo' и 'Нара' (контроль) отмечена средняя вариабельность параметра (V = 12,5–19,5%). У сортов 'Karri', 'Albos', 'Elo' и 'Бинар' (контроль) наблюдалась значительная изменчивость содержания аскорбиновой кислоты в зависимости от условий года (V = 25,1–39,6%).

Довольно близкие величины уровня накопления аскорбиновой кислоты в условиях Эстонии и на Северо-Западе России имели сорта 'Almo' и 'Mulgi Must'. Содержание аскорбиновой кислоты в ягодах остальных изученных сортов, культивируемых на Северо-Западе России, было больше на 14,8–44,4 мг%, чем при возделывании их в Эстонии.

Все изученные сорта характеризовались высоким содержанием в плодах антоцианов. Среднее их содержание в плодах составило 1759,1 мг% при диапазоне изменчивости в зависимости от образца от 967,7 до 2243,6 мг% (см. табл. 8).

Самым высоким уровнем накопления антоцианов характеризовались сорта 'Ats', 'Karri', 'Almo' и 'Elo'. У сорта 'Varmas' отмечено более низкое содержание указанных веществ по сравнению с другими сортами (см. табл. 8).

Проведенное изучение показало, что плоды эстонских сортов обладают хорошими показателями химического состава. Практически все они отвечают требованиям модельного параметра по уровню накопления сахаров, органических кислот, сухих веществ и антоцианов.

Устойчивость к болезням и вредителям

Одним из наиболее важных критериев пригодности сорта к возделыванию в условиях конкретного региона является его устойчивость к наиболее вредоносным патогенам данной местности.

В условиях Ленинградской области наиболее вредоносными грибными болезнями, поражающими черную смородину, являются мучнистая роса и антракноз; из вредителей – почковый клещ. Мы оценили устойчивость изучаемых сортов к этим болезням и наиболее опасному вредителю – почковому клещу.

Американская мучнистая роса (*Sphaerotheca morsuvae* (Schw.) Berk. et Curt.) является одной из наиболее вредоносных грибных болезней черной смородины. Начальным этапам развития гриба способствуют высокая влажность (70–80%) и среднесуточные температуры воздуха 15–17°С в мае – июне, причем, как показали исследования, влажность имеет большее значение. Погодные условия I и II декад июля также оказывают значительное влияние на дальнейшее развитие болезни (Dmitrieva, 2004).

Слабо выраженный приморский климат Ленинградской области с невысокими летними температурами и сравнительно высокой летней влажностью (Lekhnovich, 1935) почти идеально соответствует этим требованиям, поэтому возделываемые в данном регионе сорта проходят серьезную проверку на восприимчивость к болезни.

Как показали исследования, за годы наблюдений у изучаемых сортов не было отмечено значительных поражений американской мучнистой росой. Несмотря на то что 2016–2018 годы были эпифитотийными по развитию болезни, степень поражения сортов 'Albos' и 'Elo' оценивалась в эти годы в пределах 1,5 баллов; у сортов 'Mulgi Must' и 'Varmas' не превышала 1 балла. У остальных сортов признаков поражения болезнью отмечено не было (табл. 9).

Другая вредоносная болезнь черной смородины, распространенная во всех зонах возделывания культуры, в том числе и в Северо-Западном регионе России – ***антракноз***, возбудителем которого является сумчатый гриб *Pseudopeziza ribis* Kleb.

Болезнь развивается во второй половине лета. Развитию гриба способствуют повышенная влажность и умеренные (16–20°С) температуры воздуха (Sorokopudov, Melkumova, 2003).

Как показали исследования, наиболее эпифитотийным по степени проявления болезни был 2016 г. Значительные поражения болезнью наблюдались также в 2019 г. и 2020–2023 гг.

Интенсивность поражения антракнозом изучаемых образцов составила 0,5–1,5 балла; в годы эпифитотий – 2–3,5 балла.

Степень поражения сортов в годы эпифитотий позволила оценить их устойчивость к данной болезни. Относительную устойчивость к антракнозу проявляют сорта 'Karri', 'Musti' и 'Mulgi Must'. У сорта 'Varmas' в годы эпифитотий отмечена более сильная по сравнению с другими сортами восприимчивость к болезни – степень поражения в такие годы оценивалась в 3–3,5 балла. Для остальных сортов была характерна средняя устойчивость. По данным A. Kikas et al. (2019), сорт 'Karri' также проявляет относительную устойчивость к антракнозу и в Эстонии.

Одним из опаснейших и малоуязвимых вредителей черной смородины является ***почковый клещ*** (*Cecidophyopsis ribis* Westw.). Вредоносность его заключается не только в снижении урожайности из-за поврежденных почек, но и в том, что он является переносчиком микоплазменного заболевания – махровости, которая приводит к бесплодию растений (Knyazev et al., 2016).

Как показали исследования, одними из наиболее восприимчивых к вредителю оказались сорта 'Ats' и 'Varmas', у которых уже в 2016 г. было отмечено повреждение единичных почек. Впоследствии, с возрастом растений, степень инвазийности сорта 'Ats' возросла до 2,5 баллов, а у сорта 'Varmas' степень повреждения так и осталась на уровне единичных почек. Сорта 'Elo', 'Musti' и 'Mulgi Must' сохраняли устойчивость к вредителю гораздо дольше – первые признаки заражения вредителем стали проявляться только после 6–7 лет выращивания; впоследствии степень повреждения этих сортов также была невысокой, не превышающей 0,5–1 балла (см. табл. 9). У сорта 'Karri' не было отмечено признаков повреждения

Таблица 9. Поражаемость сортов черной смородины грибными болезнями и вредителями
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2015–2023 гг.)

Table 9. Fungal disease and pest incidence on black currant cultivars
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2015–2023)

Сорт / Cultivar	Повреждение почковым клещом, балл / Damage by gall mite, score	Поражение грибными болезнями: / Fungal diseases:			
		американская мучнистая роса, балл / American powdery mildew, score	антракноз, балл / leaf spot, score		
	варьирование по годам / variation by years	варьирование по годам (среднее) / variation by years (average)	варьирование по годам (среднее) / variation by years (average)	максимальный балл поражения / maximum damage score	$\sqrt{X+1}$
'Karri'	0–0,0	0–0,0 (0,0)	1,0–2,5 (1,67)	2,5	1,87
'Albos'	0–1,5	0–1,5 (0,4)	1,0–2,5 (1,9)	2,5	1,87
'Elo'	0–0,5	0–1,5 (0,2)	1,0–3,0 (1,88)	3,0	2,00
'Ats'	0–2,5	0–0,0 (0,0)	1,0–3,0 (2,1)	3,0	2,00
'Musti'	0–1,0	0–0 (0,0)	1,0–2,5 (1,67)	2,5	1,87
'Almo'	0–1,5	0–0,5 (0,06)	0,5–3,0 (1,81)	3,0	2,00
'Mulgi Must'	0–0,5	0–1,0 (0,3)	0,5–3,0 (1,33)	3,0	2,00
'Varmas'	0–0,5	0–1,0 (0,1)	1,0–3,5 (2,1)	3,5	2,12
$НСР_{05}$					0,25

почек вредителем начиная со времени посадки в 2011 г. и до 2023 г., то есть в течение 12 лет наблюдений.

Заключение

Условия теплообеспеченности Ленинградской области являются оптимальными для возделывания сортов черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center в Северо-Западном регионе России. Растения успевают пройти все фенологические фазы сезонного развития; они хорошо адаптированы к условиям региона.

В условиях Северо-Запада России сорта эстонской селекции самоплодны и самофертильны (один из сортов, 'Musti', на самоплодность не изучался). Сорта 'Varmas' (к-44174), 'Almo' (к-44169) и 'Albos' (к-44167) высокосамоплодны; 'Mulgi Must' (к-38061), 'Elo'(к-44171) и 'Karri' (к-44172) обладают хорошим уровнем самоплодности.

Все изученные сорта, за исключением сорта 'Varmas', имеют хороший прямостоячий габитус куста. Сорта 'Karri' и 'Elo' обладают хорошей побегопроизводительной способностью и быстрым формированием мощного куста с большим количеством плодоносящих побегов.

Сорта черной смородины селекции Polli Horticultural Research Center характеризуются одновременным, дружным созреванием ягод. Плоды имеют привлекательный внешний вид и хороший, гармоничный вкус, у сортов 'Varmas' и 'Elo' – с преобладанием сладости.

Хорошая адаптивность, стабильная урожайность, одновременность созревания и высокие вкусовые достоинства плодов обеспечивают возможность возделывания сортов 'Almo', 'Albos', 'Elo', 'Karri', 'Mulgi Must', 'Musti' и 'Varmas' в любительских садах на Северо-Западе России.

Все изученные сорта, кроме сортов 'Almo' и 'Ats', по содержанию сахаров, сухих веществ и антоцианов отвечают параметрам модели идеального сорта и могут быть использованы в селекции на создание сортов с улучшенными показателями химического состава.

Сорт 'Karri' может быть использован в селекции как источник хорошей самоплодности, крупноплодности, стабильной урожайности, гармоничного вкуса ягод, сухого их отрыва при сборе, повышенного содержания сухих веществ, сахаров и антоцианов в плодах, устойчивости к американской мучнистой росе и почковому клещу.

Сорт 'Varmas' является источником раннеспелости, высокой самоплодности, десертного вкуса ягод.

References / Литература

Butenko L.I., Podgornaya Zh.V. Studies of the anthocyanin complex in berries that have undergone cryoprocessing (Issledovaniya antotsianovogo kompleksa yagod, proshedshikh krioobrabotku). *Advances in Current Natural Sciences*. 2016;(11):14-17. [in Russian] (Бутенко Л.И., Подгорная Ж.В. Исследования антоцианового комплекса ягод, прошедших криообработку. *Успехи современного естествознания*. 2016;(11):14-17).

Dmitrieva A.M. Evaluation of the source material of black currant for resistance to American powdery mildew (Otsenka iskhodnogo materiala smorodiny chernoy na ustoychivost k muchnistoy rose). *Fruit Growing*. 2004;15:62-65. [in Russian] (Дмитриева А.М. Оценка исходного материала

смородины черной на устойчивость к американской мучнистой росе. *Плодоводство*. 2004;15:62-65).

Dospekhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki resultatov issledovaniy]). 5th ed. Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Агропромиздат; 1985).

Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P., Peruanskiy Yu.V., Lukovnikova G.A., Ikonnikova M.I. Methods of biochemical research in plants (Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy). A.I. Ermakov (ed.). 3rd ed. Leningrad: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.В., Луковникова Г.А., Иконникова М.И. Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. 3-е изд. Ленинград: Агропромиздат; 1987).

Fruit Genetic Resources of Estonian University of Life Sciences. Estonian Horticulture Association's List of Recommended Cultivars. Black currant: [website]. Available from: https://sordivaramu.emu.ee/kategooria.php?mis=soovitussortiment [accessed May 14, 2024].

Ikase L. Results of fruit breeding in Baltic and Nordic States. In: *Nordic View to Sustainable Rural Development. Proceedings of the 25th NJF Congress.* Riga; 2015. p.31-37. Available from: https://llufb.llu.lv/conference/NJF/NJF_2015_Proceedings_Latvia.pdf [accessed Feb. 20, 2024].

Kask K. Puuvilandis Eestis. Sordid ja aretajad. Tartu: Eesti Maaukool, 2010. [in Estonian] Available from: https://www.pikk.ee/upload/files/Taimekasvatus/Puuviljandus%20Eestis.pdf [accessed Mar. 05, 2024].

Kask K., Jänes H., Libek A., Arus L., Kikas A., Kaldmäe H. et al. New cultivars and future perspectives in professional fruit breeding in Estonia. *Agronomy Research*. 2010;8(3):603-614.

Kikas A., Laurson P., Libek A. Evaluation of Belorussian and Estonian blackcurrant *Ribes nigrum* L. cultivars in Estonia. *Fruit Growing*. 2019;31(1):134-138.

Kikas A., Libek A., Kelt K., Raudsepp P., Kahu K., Vahejõe K. et al. Black currant cultivation. In: *Mustra sostra kasvatus.* Tartu; 2008. p.71-116.

Knyazev S.D., Levgerova N.S., Makarkina M.A., Pikunova A.V., Salina E.S., Chekalin E.I., Yanchuk T.V., Shavyrkina M.A. Black currant breeding: methods, achievements, trends (Selektsiya chernoy smorodiny: metody, dostizheniya, napravleniya. Orel: VNIISPK; 2016. [in Russian] (Князев С.Д., Левгерова Н.С., Макаркина М.А., Пикунова А.В., Салина Е.С., Чекалин Е.И., Янчук Т.В., Шавыркина М.А. Селекция черной смородины: методы, достижения, направления. Орел: ВНИИСПК; 2016).

Knyazev S.D., Ogoltsova T.P. Breeding of black currant at the present stage. (Selektsiya chernoy smorodiny na sovremennom etape). Orel: Orel State Agrarian University; 2004. [in Russian] (Князев С.Д., Огольцова Т.П. Селекция черной смородины на современном этапе. Орел: Орловский государственный аграрный университет; 2004).

Lekhnovich V.S. "Krasny Pakhar" (overview) ("Krasny Pakhar" [obshchiy ocherk]). In: *Krasny Pakhar. VIR's Northern Experiment Base* (*Krasny Pakhar. Severnaya eksperimentalnaya baza VIR*). Leningrad; Moscow; 1935. p.7-13. [in Russian] (Лехнович В.С. «Красный Пахарь» (Общий очерк). В кн.: *Красный Пахарь. Северная экспериментальная база ВИР*. Ленинград; Москва; 1935. С.7-13).

Libek A., Kikas A., Hanni L. Small fruit cultivars bred at the Polli Horticultural Research Centre. In: *Current State of Currant and Gooseberry Crops (collection of scientific papers)*. Michurinsk-Naukograd; 2007. p.116-118.

Lobanov G.A. (ed.). Program and methods for studying varieties of fruit, berry and nut crops (Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur). Michurinsk: VNIIS; 1973. [in Russian] (Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Г.А. Лобанова. Мичуринск: ВНИИС; 1973).

Popov V.S., Smyatskaya Yu.A. A modified titrimetric method for the quantitative determination of vitamin C in colored plant extracts. *Vestnik of Perm National Research Polytechnic University (PNRPU Bulletin). Chemical Technology and Biotechnology*. 2020;(4):43-53. [in Russian] (Попов В.С., Смятская Ю.А. Модифицированный титриметрический метод количественного определения витамина С в окрашенных растительных экстрактах. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология*. 2020;(4):43-53). DOI: 10.15593/2224-9400/2020.4.04

Sasnauskas A., Šikšnianas T., Stanys V., Viskelis P., Bobinaite R., Rubinskiene M. et al. Agronomical characters of introduced new blackcurrant cultivars. *Proceeding of the Latvian Academy of Science. Section B: Natural, Exact, and Applied Sciences*. 2013;67(2):211-214. DOI: 10.2478/prolas-2013-0036

Sedov E.N., Ogoltsova T.P. (eds). Program and methodology of variety studies for fruit, berry and nut crops (Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur). Orel: VNIISPK; 1999. [in Russian] (Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК; 1999).

Sorokopudov V.N., Melkumova E.A. Biological features of currants and gooseberries during introduction (Biologicheskiye osobennosti smorodiny i kryzhovnika pri introduktsii). Novosibirsk: Novosibirsk State Agrarian University; 2003. [in Russian] (Сорокопудов В.Н., Мелькумова Е.А. Биологические особенности смородины и крыжовника при интродукции: монография. Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет; 2003).

Информация об авторах

Ольга Анатольевна Тихонова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, o.tikhonova@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-0319-1477

Виталий Сергеевич Попов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, popovitaly@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-3274-7662

Information about the author

Olga A. Tikhonova, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, o.tikhonova@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-0319-1477

Vitaliy S. Popov, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, popovitaly@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-3274-7662

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.05.2024; одобрена после рецензирования 18.07.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 21.05.2024; approved after reviewing on 18.07.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 571.1:633.854.78
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-135-146

CC BY

Особенности наследования карликового фенотипа у гибридов от скрещивания линий подсолнечника, различающихся по аллелям локуса *Rht1*

И. Н. Анисимова[1], Г. В. Хафизова[2], Л. Г. Макарова[1], Н. В. Алпатьева[1], М. К. Рязанова[1], О. М. Борисенко[3], В. А. Гаврилова[1]

[1] *Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия*

[2] *Хьюстонский университет, Хьюстон, Соединенные Штаты Америки*

[3] *Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта, Краснодар, Россия*

Автор, ответственный за переписку: Ирина Николаевна Анисимова, irina_anisimova@inbox.ru

Актуальность. Мировое производство семян подсолнечника базируется на использовании в F_1 гибридов эффекта гетерозиса, который оказывает положительное влияние как на урожайность, так и на высоту растений. Для создания промышленных гибридов с оптимальной высотой нужно использовать короткостебельные линии. Молекулярные механизмы проявления признака у короткостебельных линий генетической коллекции подсолнечника ВИР не изучены.

Материал и методы. Материалом для генетического анализа служили 27 короткостебельных и 10 высокорослых линий подсолнечника генетической коллекции ВИР, а также поколения F_1 и F_2 гибридов от скрещивания высокорослой (ВИР 340) и карликовой (ВИР 171) форм. Родительские линии и гибриды фенотипированы по признакам: высота растения, число листьев, длина междоузлия. Генотипирование по локусу *Rht1* (ген-кандидат *HaDella1*), контролирующему негативный регулятор гиббереллинового ответа – белок DELLA, выполнено с помощью разработанного в ходе исследования CAPS-маркера.

Результаты. Высота растений линии ВИР 340 в среднем за три года изучения составила 162 см, число листьев – 29, длина междоузлия – 6 см. Линия ВИР 171 характеризовалась высотой в среднем 66 см, числом листьев 24, длиной междоузлия 2,8 см. Гибриды первого поколения были единообразны, их высота составляла 180–190 см, что свидетельствовало о доминировании признака высокорослости. На основании анализа расщепления гибридов F_2 сделано предположение о дигенном контроле карликового фенотипа линии ВИР 171. Разработан CAPS-маркер G-D-1 / Bmt I для идентификации миссенс-мутации T>C в первом экзоне гена *HaDella1*, приводящей к замене лейцина на пролин в мотиве DELLA. С его помощью аллель *Rht1* идентифицирован у сходных по происхождению и фенотипу карликовых линий ВИР 171 и ВИР 434. Маркер G-D-1 / Bmt I валидирован на материале расщепляющейся гибридной популяции F_2 (ВИР 340 × ВИР 171). Подтверждена диагностическая ценность маркера G-D-1 / Bmt I для отбора карликовых генотипов, гомозиготных по мутантному аллелю *Rht1*.

Ключевые слова: *Helianthus annuus*, короткостебельность, фенотипирование, высота растения, длина междоузлия, гены, сигналинг гиббереллина, DELLA-белки, молекулярные маркеры

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-323 от 21.04.2022 о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Анисимова И.Н., Хафизова Г.В., Макарова Л.Г., Алпатьева Н.В., Рязанова М.К., Борисенко О.М., Гаврилова В.А. Особенности наследования карликового фенотипа у гибридов от скрещивания линий подсолнечника, различающихся по аллелям локуса *Rht1*. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):135-146. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-135-146

© Анисимова И.Н., Хафизова Г.В., Макарова Л.Г., Алпатьева Н.В., Рязанова М.К., Борисенко О.М., Гаврилова В.А., 2024

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-135-146

The inheritance pattern for the dwarf phenotype in hybrids from crosses among sunflower lines differing in alleles of the *Rht1* locus

Irina N. Anisimova[1], Galina V. Khafizova[2], Larisa G. Makarova[1], Natalia V. Alpatieva[1], Maria K. Ryazanova[1], Oksana M. Borisenko[3], Vera A. Gavrilova[1]

[1] *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia*

[2] *University of Houston, Houston, United States of America*

[3] *V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Krasnodar, Russia*

Corresponding author: Irina N. Anisimova, irina_anisimova@inbox.ru

Background. Sunflower seed production is based on utilization of the heterosis effect, manifesting itself in improving both yield and plant height in hybrids. Short-stemmed lines need to be used to develop commercial hybrids with an optimum height. Molecular bases of the trait manifestation in the dwarf lines from VIR's sunflower genetic collection have not yet been studied.
Materials and methods. The material included 27 short-stemmed and 10 tall sunflower lines from VIR's genetic collection, as well as the F_1 and F_2 hybrid generations derived from crossing the tall (VIR 340) and dwarf (VIR 171) genotypes. The parental lines and hybrids were phenotyped for plant height, leaf number, and internode length. Genotyping for the *Rht1* locus (*HaDella1* candidate gene), encoding the negative regulator of the gibberellin response, the DELLA protein, was performed using the developed CAPS marker.
Results. The average plant height in the VIR 340 line over a three-year study was 162 cm, the number of leaves 29, and the internode length 6 cm. The VIR 171 line demonstrated the plant height of 66 cm, leaf number of 24, and internode length of 2.8 cm. The F_1 hybrids were uniform, with the height of 180–190 cm, that indicated the dominance of the long stem trait. Analyzing the segregation in the F_2 hybrid generation led to an assumption admitting the digenic control of the dwarf phenotype in the VIR 171 line. The CAPS marker G-D-1/ Bmt I was developed to identify a missense mutation T>C in the first exon of the *HaDella1* gene, which results in the substitution of leucine with proline in the DELLA motif. Using the marker, the mutant *Rht1* allele was identified in the VIR 171 and VIR 434 dwarf lines, similar in their origin and phenotype. The results of validation in the F_2 hybrid population (VIR 340 × VIR 171) confirmed the efficiency of the G-D-1 / Bmt I marker for selecting dwarf genotypes homozygous for the *Rht1* mutant allele.

Keywords: *Helianthus annuus*, dwarfism, phenotyping, plant height, internode length, genes, gibberellin signaling, DELLA proteins, molecular markers

Acknowledgments: this research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in the framework of Agreement No. 075-15-2022-323 dated April 21, 2022, on providing a grant in the form of subsidies from the federal budget of the Russian Federation. The grant was earmarked for the state-supported establishment and development of the world-class scientific center *Agrotechnologies for the Future*.
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Anisimova I.N., Khafizova G.V., Makarova L.G., Alpatieva N.V., Ryazanova M.K., Borisenko O.M., Gavrilova V.A. The inheritance pattern for the dwarf phenotype in hybrids from crosses among sunflower lines differing in alleles of the *Rht1* locus. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):135-146. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-135-146

Введение

Одним из ценных для селекции признаков сельскохозяйственных культур является высота растения, с которой связаны такие важные свойства, как устойчивость к полеганию, эффективность усвоения элементов питания и, следовательно, качество и урожайность. Использование признака карликовости в селекции пшеницы предопределило успех «Зеленой революции» во второй половине XX века, главным достижением которой стало решение проблемы нехватки продовольствия в странах третьего мира (Hedden et al., 2003). Наиболее детально генетический контроль короткостебельности изучен у пшеницы (Borojevic Kat., Borojevic Ks., 2005; Sukhikh et al., 2021), ячменя (Xu et al., 2017), риса (Cheng et al., 2022). У других зерновых культур, а также у культивируемых представителей различных семейств двудольных растений сведения о генах, снижающих высоту растений, немногочисленны (например, ген *Le* гороха) (Martin et al., 1997).

Современные представления о развитии карликового фенотипа у растений основаны на двух основных причинах, связанных с нарушениями синтеза и/или передачи сигналов эндогенного гормона гиббереллиновой кислоты (ГК) (Davière, Achard, 2013; Bilova et al., 2016; Sarwar et al., 2023). Исходя из этого, среди карликов выделяют две большие группы: ГК-дефицитные мутанты и мутанты по генам сигналинга ГК. В отличие от ГК-дефицитных (ГК-чувствительных), мутанты по генам ответа на гиббереллин (ГК-ответные) не восстанавливают нормальную высоту растений при экзогенной обработке гиббереллином. Предполагается, что такие растения имеют нарушения в различных звеньях передачи сигналов гиббереллина. Ключевыми компонентами приема и передачи сигнала ГК являются: GID1 – рецептор ГК, отрицательные регуляторы – белки DELLA, белки F-бокса SLEEPY1, SNEEZY и GIBBERELLIN INSENSITIVE DWARF2 (GID2), ответственные за деградацию белка путем мечения его убиквитином и последующего связывания с протеасомой, и, наконец, гены, регулируемые ГК. Молекула активного гиббереллина связывается с GID1 для запуска сигнальной трансдукции. Образующийся комплекс GA-GID1 взаимодействует с белком DELLA, приводя к образованию комплекса GA-GID1-DELLA, который распознается белками F-box. Эти белки индуцируют взаимодействие с убиквитин-протеин-лигазой, вызывая убиквитинирование и последующую деградацию DELLA-белка в протеасомах. В норме деградация белков DELLA запускает экспрессию генов, регулируемых ГК, поскольку эти белки больше не подавляют ответ на ГК. Накопление белков DELLA в клетке ограничивает нормальный рост растений (Xue et al., 2022). На сегодняшний день идентифицированы ГК-нечувствительные мутанты и предложены различные потенциальные молекулярные механизмы развития карликовости, ассоциированной с нарушениями функции белков DELLA, для ряда важных сельскохозяйственных культур: риса (Itoh et al., 2005), пшеницы (Würschum et al., 2017; Eshed, Lippman, 2019; Van De Velde et al., 2021), кукурузы (Lawit et al., 2010) и других растений.

Молекулярные механизмы формирования ассоциированного с ГК признака карликовости у подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) – основной масличной культуры Российской Федерации – изучены недостаточно. Однако в настоящее время интерес к карликовому подсолнечнику возрастает как в связи с необходимостью создания короткостебельных, не полегающих гибридов, так и с перспективами использования карликовых форм в качестве декоративных растений.

В литературе описаны несколько источников короткостебельности подсолнечника, для которых был изучен генетический контроль. В ранних работах при использовании гибридологического анализа выявлен один ген *dwarf* (*dw*) с промежуточным характером наследования. По данным Г. Эннса с соавторами (Enns et al., 1970) и В. Ф. Родина (Rodin, 1976), ген (*dw*) снижает высоту растения на 30%. В. В. Толмачев (Tolmachev, 1992) показал, что ген карликовости наследуется по типу кодоминирования и в гомозиготном состоянии оказывает плейотропное действие на морфотип растения и длину вегетационного периода, увеличивая последний на 4–6 дней.

В генетической коллекции подсолнечника Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) имеется около 40 низкорослых линий, различающихся по числу листьев, длине междоузлия и высоте растения (Gavrilova et al., 2014, 2024). Методом гибридологического анализа установлено, что фенотип короткостебельности линий коллекции обусловлен разными генетическими системами, включающими гены *dw1* и *dw2* (ВИР 272, ВИР 434), рецессивные аллели генов *short stem* (*sht1*, *sht2*, *sht3* – у ВИР 319 и ВИР 328), а также не менее трех генов *semi dwarf* (*sd* – у ВИР 253, ВИР 501, ВИР 648) с неполным доминированием (Yesaev, 1998).

М. Л. Рамос с соавторами (Ramos et al., 2013) изучили серию линий – восстановителей фертильности и закрепителей стерильности, полученных с участием генетического материала источника карликовости DDR из Германии. Генетический контроль карликовости у DDR неизвестен. Однако анализ наследования в F_1 и анализирующих скрещиваниях показал, что признак карликовости одной из полученных на основе данного источника линий детерминирован аллелем *Rht1* с полудоминантным характером наследования. Локус *Rht1* картирован на хромосоме 12. Карлик имеет специфический фенотип: укороченные междоузлия, нечувствительность к экзогенному гиббереллину, пониженную фертильность пыльцы, характеризуется нормальным фотоморфогенезом, но плохо завязывает семена при самоопылении. Установлено, что аллель дикого типа, *rht1*, определяет консервативный (дикий) тип белка DELLA, который функционирует как ГК-отрицательный негативный регулятор гиббереллинового сигналинга. Аллель *Rht1* ко-расщеплялся с одним из гаплотипов последовательности гена *HaDella1*, характеризующимся наличием точковой мутации в консервативном домене DELLA. Транзиция T>C в положении 143 от начала домена DELLA приводит к замене одного из остатков лейцина на пролин (мотив DELPA) и, следовательно, к изменению функции белка DELLA. На основе анализа полиморфизма последовательности фрагмента гена *HaDella1* авторы исследования разработали аллель-специфичный маркер для идентификации SNP, ассоциированного с аллелем *Rht1* (Ramos et al., 2013).

В другом исследовании показано, что короткостебельность растений инбредной линии подсолнечника СМ523 (мутация *dwarf2* – *dw2*) обусловлена наличием протяженной делеции в гене *HaKAO1*, кодирующем фермент – оксидазу кауреновой кислоты, являющуюся основным участником превращения энт-каурена в ГК. Делеция в гене *HaKAO1* приводит к нарушению сплайсинга мРНК и образованию преждевременного стоп-кодона. Мутантные растения с нарушениями пути синтеза ГК характеризуются заторможенным ростом стебля, умень-

шенными размерами листьев, черешков и соцветия, аномалиями развития цветков. Для получения семян растения мутантной линии обрабатывали гиббереллиновой кислотой и проводили ручное опыление (Fambrini et al., 2011). ГК-дефицитный мутант *dw2* отличается повышенной засухоустойчивостью, высоким уровнем содержания фитогормонов салициловой и жасмоновой кислот (Mariotti et al., 2022).

Л. Мариотти с соавторами (Mariotti et al., 2018) описали так называемый «брахитичный» мутант подсолнечника *lingering hope*, характеризующийся укороченными верхними междоузлиями, измененной формой листовой пластинки, хлорозом и дефектами развития соцветия. Признак наследуется как рецессивный; он связан с нарушениями метаболизма салициловой кислоты.

Таким образом, у подсолнечника выявлены короткостебельные формы, фенотип которых обусловлен как нарушением синтеза ГК, так и накоплением репрессоров сигналинга гиббереллинов в результате точковой мутации в гене, кодирующем белок DELLA. Однако молекулярные механизмы развития карликового фенотипа у линий коллекции подсолнечника ВИР пока не изучены; не идентифицированы и известные из литературных источников мутации, ассоциированные с признаком карликовости. В настоящей работе у двух карликовых линий (ВИР 171 и ВИР 434) генетической коллекции ВИР идентифицирована миссенс-мутация, характерная для ранее описанного аллеля *Rht1*, приводящая к изменению последовательности аминокислот в домене DELLA гена *HaDella1*, разработан и валидирован аллель-специфичный CAPS-маркер, а также изучены особенности наследования признака карликовости при скрещивании с линией ВИР 340, характеризующейся нормальной высотой растений.

Материал и методы

Материал

Материалом для молекулярно-генетического анализа служили 27 короткостебельных и 10 высокорослых линий коллекции ВИР.

Для гибридологического анализа выбраны линии, которые в течение нескольких лет изучения контрастно различались по высоте растения: карликовая ВИР 171 (к-2792) и высокорослая ВИР 340 (к-3513). Гибриды высокорослой линии ВИР 340 (материнская форма) с карликовой ВИР 171 (отцовская форма) при ручной кастрации материнской формы были получены во Всероссийском научно-исследовательском институте масличных культур имени В.С. Пустовойта (Краснодар). Родительские линии, гибриды первого и второго поколения высевали одновременно на Кубанской опытной станции – филиале ВИР (КОС ВИР) в 2022 г. на трехрядковых делянках по два растения в гнезде. Расстояние между рядками и между гнездами – 70 × 70 см, согласно методическим указаниям ВИР (Anashchenko, 1978).

Фенотипирование

Родительские линии, гибриды F_1 и F_2 были охарактеризованы по признакам «высота растений», «диаметр корзинки» и «число листьев». Промеры высоты растения и подсчет листьев проводили во время цветения для всех растений на делянке. Среднюю длину междоузлия определяли как отношение высоты к числу листьев каждого растения. Вычисляли средние значения для линии по каждому признаку и ошибку среднего с использованием программы Excel. В качестве стандарта в исследование взят районированный в Краснодарском крае сорт 'Мастер' (к-3553).

Для оценки фертильности пыльцы линии ВИР 171 использовали модифицированный ацетокарминовый метод окрашивания (Voronova, Gavrilova, 2019). Цитологический анализ был произведен с помощью метода подсчета процента фертильных пыльцевых зерен при анализе не менее 10 полей зрения при 20-кратном увеличении. Исследование проводилось на микроскопе Zeiss Axioplan 2 Imaging с цифровой фотокамерой AxioVision.

Генотипирование

Геномную ДНК выделяли из собранных в поле зеленых листьев с использованием модифицированного CTAB-метода (Li et al., 2007).

Для амплификации участка гена *HaDella1* (GenBank: DQ503809.1 в базе нуклеотидных последовательностей NCBI, https://www.ncbi.nlm.nih.gov) использовали праймеры G-D1-F (5'-ATGAAACGTGACTACCCAA-3') и G-D1-R (5'-GGTTGCTACTTTCCGCATCGC-3'). Смесь для амплификации аллель-специфичного маркера, кроме указанных праймеров, содержала праймер G-delp-F (5'-CGGAGATGACGAGCTGCC-3') (Ramos et al., 2013).

ПЦР проводили при следующих условиях: начальная денатурация (94–96°C) – 4 мин; затем 45 циклов: денатурация (94°C) – 30 с, отжиг праймеров (55°C) – 30 с, синтез (72°C) – 1–2 мин, финальная элонгация 72°C – 5–7 мин. Реакционная смесь (25 мкл) содержала 50 нг геномной ДНК, однократный реакционный буфер (1,5 мМ $MgCl_2$), по 0,4 мкМ каждого из праймеров, по 0,2 мМ каждого dNTP и 1,5 е. а. Taq ДНК-полимеразы.

Секвенирование аплифицированных фрагментов выполнено с использованием оборудования ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной микробиологии.

Для идентификации аллель-специфичного SNP в позиции 143 фрагмент, полученный при амплификации с парой праймеров G-D1-F/G-D1-R, обрабатывали эндонуклеазой рестрикции Bmt I с использованием протокола, рекомендованного фирмой-производителем (ООО «СибЭнзим СПб»).

Электрофорез амплифицированных фрагментов проводили в 2-процентном и 3-процентном агарозных гелях в однократном трис-боратном буфере, окрашивали бромистым этидием и визуализировали в ультрафиолетовом свете. Праймеры были синтезированы ЗАО «Евроген» (Москва).

Реактивы для ПЦР (10×реакционный буфер, dNTP, Taq ДНК-полимераза, маркеры молекулярного веса ДНК) поставлены фирмой ПКЗАО «Диалат ЛТД» (Москва).

Результаты

Разработка и валидация CAPS-маркера аллеля Rht1

Фрагмент, амплифицированный с парой праймеров G-D1-F/G-D1-R, имел длину 675 пн. При включении в смесь для амплификации праймера G-delp-F у линий ВИР 171 и ВИР 434, характеризовавшихся карликовым фенотипом с укороченными (< 2,5 см) междоузлиями и высотой менее 80 см, наряду с фрагментом 675 пн амплифицировался дополнительный фрагмент длиной 549 пн, соответствующий аллель-специфичному маркеру, описанному М. Л. Рамос с соавторами (Ramos et al.,

2013) (рис. 1, а). Фрагмент 549 пн амплифицируется только у карликовых генотипов с характерной миссенс-мутацией T>C в последовательности гена *HaDella1*, следовательно линии ВИР 171 и ВИР 434 могут являться носителями данной мутации, приводящей к развитию карликового фенотипа. Это предположение подтверждено результатами секвенирования ампликонов из карликовых (ВИР 434 и ВИР 171) и высокорослых (ВИР 755 и HA89) линий. При сравнении полученных последовательностей с референсными (GenBank NCBI: JQ042689 из карликовой мутантной линии RHA358 с мутантным аллелем *Rht* и GenBank NCBI: JQ342828.1 из высокорослого сорта *H. annuus*) выяснилось, что в позиции 143 фрагмента 675 пн из линий ВИР 434 и ВИР 171 также находится нуклеотид С. Таким образом, фрагмент геномной последовательности HaDella1 JQ042689.1 полиморфен у линий генетической коллекции подсолнечника ВИР. По меньшей мере две линии (ВИР 171 и ВИР 434) несут в своих генотипах мутацию T>C в мотиве DELLA, которая приводит к замещению лейцина на пролин и потере функции белка (рис. 1, б).

Аллель-специфичный маркер для детекции SNP 143T>C, предложенный М. Л. Рамос с соавторами (Ramos et al., 2013), доминантен, то есть его профиль идентичен как у гомозигот, так и у гетерозигот по аллелю *Rht1*. Однако для проведения маркер-опосредованного отбора (а карликовые линии в качестве ценного исходного материала селекции декоративных форм могут быть использованы в скрещиваниях с другими линиями, обладающими, например, разной окраской язычковых цветков) перспективны кодоминантные маркеры, позволяющие с высокой степенью эффективности отбирать гомозиготные по мутации генотипы. Для идентификации SNP в позиции 143 фрагмента, амплифицированного с праймерами G-D1-F / G-D1-R, была подобрана рестриктаза Bmt I, узнающая последовательность дикого типа в данном участке, но не расщепляющая мутантную последовательность (табл. 1). Ожидалось, что у носителей мутации (гомозигот *Rht1Rht1* по Ramos et al., 2013) длина фрагмента после обработки рестриктазой не изменится, у высокорослых линий (дикий тип, *rht1rht1*) в спектрах будут наблюдаться два фрагмента размером 530 и 145 пн, а у гетерозигот *Rht1rht1* спектры будут включать как исходный фрагмент 675 пн, так и фрагменты длиной 530 и 145 пн, полученные в результате рестрикции, что и было подтверждено при анализе изучаемой выборки: CAPS-маркер G-D-1 / Bmt I отмечен у линий ВИР 171 и ВИР 434, но не наблюдался у 35 других изученных карликовых и высокорослых линий (рис. 1, в).

Для валидации CAPS-маркера G-D-1 / Bmt I анализировали индивидуальные растения гибридов F_2 от скрещивания высокорослой линии ВИР 340 с карликовой линией ВИР 171. Высота материнской формы (КОС ВИР, 2022 г.) составляла 180–190 см, отцовской в тех же условиях – 60–70 см. Гибриды F_1 оказались единообразными и имели высоту 180–190 см, то есть соответствовали по высоте материнскому родителю (табл. 2).

Высота стандартного сорта ‘Мастер’, по данным за 3 года изучения на КОС ВИР, составила в среднем 180,9 ± 12,8 см, что превышает показатель 2021 г. (168,1 ± 4,3 см). Число листьев на растении – 38,0 ± 0,7, длина междоузлия – 4,8 ± 0,2 см. Материнская линия ВИР 340 имеет следующие характеристики: средняя высота растения – 170–180 см, длина междоузлия в среднем за три года – 6,0 ± 1,0 (см. табл. 2). Высота отцовской линии ВИР 171 составила в среднем 66,0 ± 6,2 см. В отличие от карликовой линии RHA 358, изученной в работе М. Л. Рамос с соавторами (Ramos et al., 2013), растения ВИР 171 имели высокофертильную пыльцу. Показатели фертильности пыльцы у линии ВИР 171 составили 83–96%, тогда как у RHA 358 – около 46%.

По результатам генотипирования, 35 растений F_2 были гомозиготны по материнскому аллелю маркера G-D-1 / Bmt I (в спектрах присутствовали два фрагмента длиной 530 пн и 145 пн), 24 гомозиготны по аллелю, полученному от отцовской формы (один фрагмент 675 пн), и 103 характеризовались профилем маркера, характерным для гетерозиготного генотипа F_1 (три типа фрагментов: длиной 675, 530 и 145 пн) (рис. 2).

Анализ с помощью критерия Пирсона χ^2 не подтвердил соответствие теоретически ожидаемому соотношению 1 : 2 : 1 ($\chi^2 = 10{,}44$; $0{,}005 < p < 0{,}01$). Явная нехватка растений, гомозиготных по аллелю *Rht1*, полученному от отцовского родителя, может быть результатом конкуренции в ПЦР за сайты отжига праймера из-за наличия в геноме еще одного гена, кодирующего белок DELLA и имеющего последовательность, гомологичную последовательности аллеля дикого типа *HaDella1*.

Характер распределения по высоте растений F_2 с разными вариантами маркера оказался следующим. Среди форм с маркером материнского типа (m – предположительно гомозиготы *rht1rht1* по Ramos et al., 2013) преобладали очень высокие растения (221–240 см), а также растения, по высоте соответствовавшие материнскому родителю – от 161 до 200 см (рис. 3). Пределы варьирования высоты растений с материнским (m) и отцовским (p – предположительно гомозиготы *Rht1Rht1* по Ramos et al., 2013) вариантами маркера составили 100 см, тогда как у растения с гибридным профилем маркера (mp – предположительно гетерозиготы *Rht1rht1* по Ramos et al., 2013) пределы оказались больше – 160 см. Типичные карликовые растения высотой не более 80 см (как у отцовской линии ВИР 171) отмечены только среди растений с отцовским вариантом (p), следовательно маркер G-D-1 / Bmt I может быть использован в качестве диагностического при отборе гомозиготных карликовых генотипов из гибридных популяций. В группе растений, предположительно гомозиготных по аллелю отцовского типа, выделились еще две группы: соответствовавшие по высоте отцовскому родителю (от 40 до 80 см) и высокорослые, высота которых, однако, была немного ниже, чем у материнского родителя (141–160 см). В популяции F_2 доля относительно высокорослых растений – гомозигот по отцовскому варианту маркера – оказалась значительной и составила 54%. Обобщая полученные данные о варьировании признака высоты в гибридном потомстве от скрещивания высокорослой и карликовой линий, можно предположить, что карликовость линии ВИР 171 контролируется двумя генами, один из них – *Rht1*. Кроме того, нельзя исключить, что наблюдаемое варьирование, а также явное трансгрессивное расщепление обусловлены эффектами межаллельного взаимодействия.

Гибридологический анализ признака карликовости

Коэффициент вариации (CV) мерных признаков для родительских форм в разные годы исследования невысок и составляет для большинства значений 1,8–9,7%; для ВИР 340 в 2021 г. несколько выше: 12,2–16,1%. Исключение составляет изменчивость признаков линии ВИР 171 в 2022 г. (CV от 12,6% до 24,6%), что объясняет-

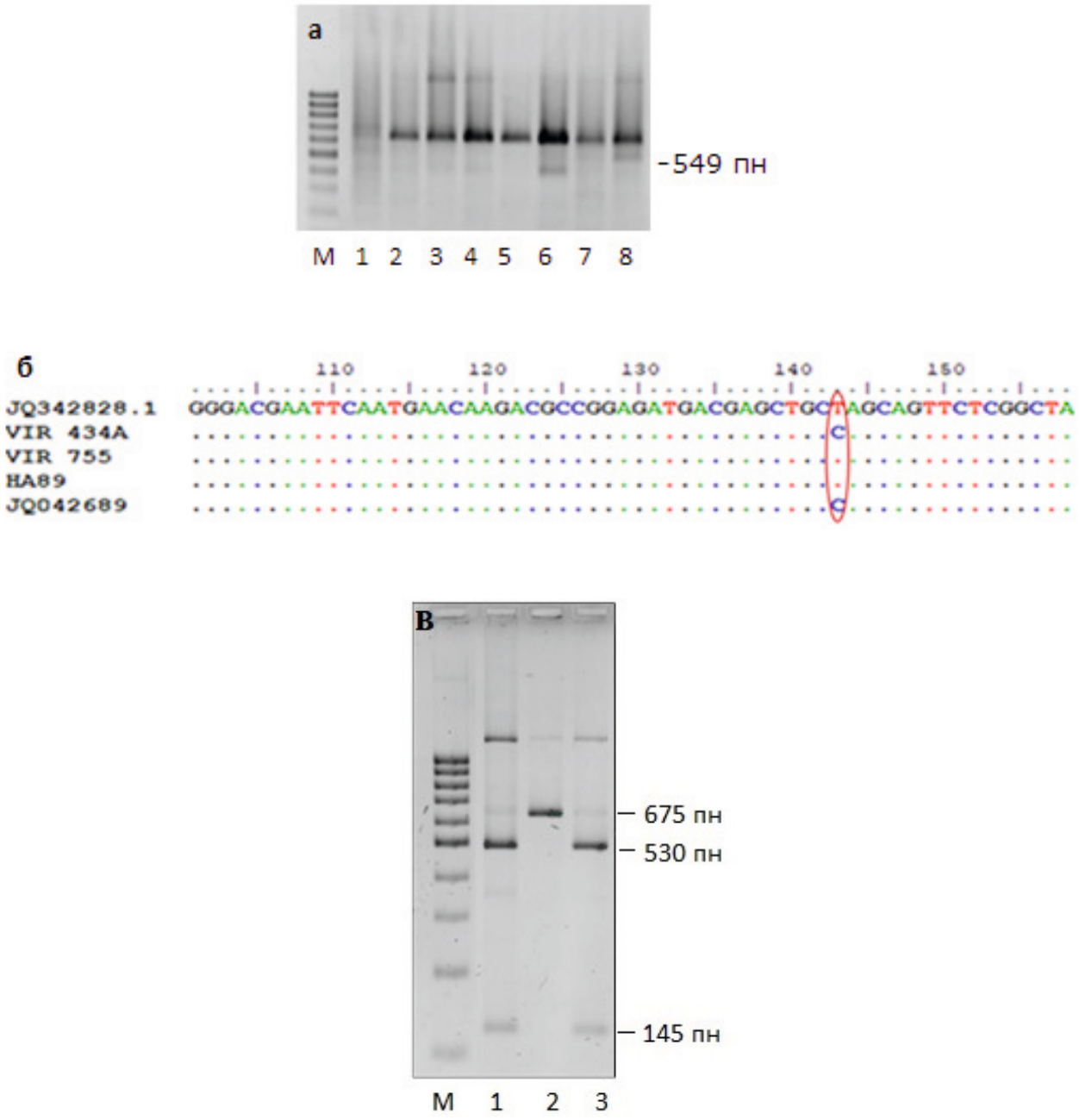


Рис. 1. Идентификация аллель-специфичного SNP 143T>C в гене *HaDella1* (локус *Rht1*):
а) продукты амплификации, полученные с комбинацией праймеров G-D1-F / G-D1-R / G-delp-F у линий коллекции ВИР: **1** – ВИР 125, **2** – ВИР 253, **3** – ВИР 302, **4** – ВИР 319, **5** – ВИР 328, **6** – ВИР 755, **7** – ВИР 340, **8** – ВИР 434; маркерный фрагмент 549 пн амплифицирован у линии ВИР434;
б) SNP 143T>C в последовательностях референсного фрагмента из карликовых линий RHA 258 (GenBank: JQ042689, https://www.ncbi.nlm.nih.gov) и ВИР 434А, фрагментов из высокорослых линий (GenBank: JQ342828.1, https://www.ncbi.nlm.nih.gov), ВИР 755 и HA89;
в) профили CAPS-маркера G-D-1 / Bmt I у линий ВИР 319 (дорожка 1), ВИР 171 (дорожка 2) и ВИР 340 (дорожка 3). М – маркер молекулярного веса ДНК 100 bp («Диалат»)

Fig. 1. Identification of the allele-specific SNP 143T>C in the *HaDella1* gene (*Rht1* locus):
a) amplification products obtained with the primer combination G-D1-F / G-D1-R / G-delp-F in the lines from VIR's collection: **1** – VIR 125, **2** – VIR 253, **3** – VIR 302, **4** – VIR 319, **5** – VIR 328, **6** – VIR 755, **7** – VIR 340, **8** – VIR 434); the 549 bp marker fragment was amplified from the VIR 434 line;
б) SNP 143T>C in the sequences of the reference fragment from the dwarf lines RHA 258 (GenBank: JQ042689, https://www.ncbi.nlm.nih.gov) and VIR 434A, and fragments from tall lines (GenBank: JQ342828.1, https://www.ncbi.nlm.nih.gov), VIR 755 and HA89;
в) profiles of the CAPS marker G-D-1 / Bmt I from the lines: VIR 319 (lane 1), VIR 171 (lane 2), and VIR 340 (lane 3). M – DNA molecular weight marker 100 bp (Dialat)

Таблица 1. **Характеристика CAPS-маркера G-D-1 / Bmt I, разработанного для идентификации ассоциированного с карликовым фенотипом SNP в последовательности гена *HaDella1* подсолнечника**

Table 1. **Characteristics of the CAPS marker G-D-1 / Bmt I developed for identification of an SNP in the sunflower *HaDella1* gene sequence associated with the dwarf phenotype**

Генотип / Genotype	Размер фрагмента без обработки рестриктазой, пн / Fragment size without restrictase treatment, bp	Размеры фрагментов после обработки рестриктазой (маркер G-D-1 / Bmt I), пн / Fragment sizes after restrictase treatment (marker G-D-1 / Bmt I), bp
Rht1Rht1	675	675
Rht1rht1	675	675 + 530 + 145
rht1rht1	675	530 + 145

Таблица 2. **Фенотипическая характеристика родительских линий и гибрида F_1 подсолнечника (ВИР 340 × ВИР 171)** (Краснодарский край, Кубанская опытная станция ВИР, 2021–2023 гг.)

Table 2. **Phenotypic characteristics of the parental lines and the F_1 hybrid (VIR 340 × VIR 171) of sunflower** (Kuban Experiment Station of VIR, Krasnodar Territory, 2021–2023)

Название / Name	Год / Year	Высота растения, см / Plant height, cm		Число листьев / Number of leaves		Длина междоузлия, см / Internode length, cm	
		x ±	CV, %	x ±	CV, %	x ±	CV, %
ВИР 340	2021	124,3 ± 3,0	12,2	29,9 ± 0,4	6,6	4,2 ± 0,1	16,1
	2022	190,6 ± 3,1	7,2	33,5 ± 7,2	9,5	7,1 ± 0,4	9,7
	2023	172,5 ± 4,0	1,8	22,8 ± 0,5	2,1	7,7 ± 0,3	3,0
	Среднее за 3 года	162,5 ± 19,8		28,7 ± 3,14		6,0 ± 1,0	
ВИР 171	2021	69,3 ± 2,7	17,0	28,7 ± 0,6	9,1	2,4 ± 0,10	16,1
	2022	54,0 ± 7,0	22,5	21,0 ± 1,5	12,6	2,6 ± 0,40	24,6
	2023	74,6 ± 2,7	3,6	22,5 ± 0,6	2,5	3,3 ± 0,2	4,5
	Среднее за 3 года	66,0 ± 6,2		24,1 ± 2,4		2,8	
F_1 (ВИР 340 × ВИР 171	2022	180,1 ± 2,5	4,3	33,9 ± 1,7	5,1	5,3 ± 0,10	2,1
Сорт ‘Мастер’ (стандарт)	2021	168,1 ± 4,3	3,7	37,3 ± 0,9	3,2	4,5 ± 0,1	4,7
	2022	193,6 ± 6,3	4,2	38,7 ± 0,8	2,9	5,0 ± 0,2	4,9
	Среднее за 3 года	180,9 ± 12,8		38,0 ± 0,7		4,75	

ся небольшим числом растений, привлеченных для измерения. По классификации А. Ф. Мережко, по степени варьирования количественные признаки, такие как «высота растения», можно разделить на три класса: сильно варьирующие (CV более 30%), средне варьирующие (CV 10–30%) и слабо варьирующие (CV менее 10%). Слабо варьирующие можно рассматривать в генетическом анализе не как количественные, а как качественные (Merezhko, 1994). Мы сделали допущение, что высота растения, число листьев, размер междоузлия у изучаемых линий являются слабо варьирующими признаками (см. табл. 2) и, исходя из этого, оценили характер наблюдаемого расщепления по фенотипу.

Расщепление в F_2 по высоте растения и длине междоузлия составило 153 : 13, где 13 растений имеют высоту такую же, как отцовская форма ВИР 171 (рис. 4, табл. 3). Это соотношение можно интерпретировать как дигенное расщепление (15 : 1), где одну часть составляют карлики с высотой растения около 80 см и длиной междоузлия 1,9–2,6 см ($\chi^2 = 0{,}52$; $\chi^2_{крит.} = 3{,}84$). Все 13 растений карликового фенотипа имели междоузлия длиной 1,2–2,9 см и были гомозиготами по отцовскому аллелю CAPS-маркера. Соотношение числа растений F_2 с коротким и длинным междоузлием составило 13 : 153. Кроме того, гетерозиготными по вариантам CAPS-маркера были растения F_2, которые классифицировали как высокорослые с высотой 100–120 см и длиной междоузлия 3,0–3,9 см. Таких растений оказалось 11. Если объединить число растений карликового фенотипа (13) и низкорослого (11), получится 24.

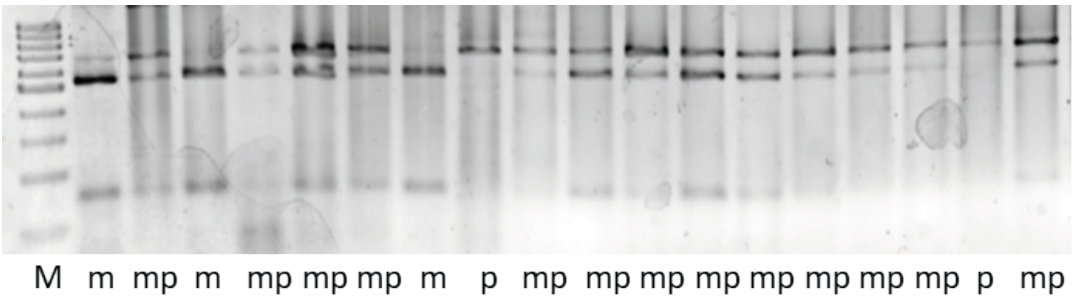


Рис. 2. Профили маркера G-D-1 / Bmt I, полученные после обработки фрагмента 675 пн эндонуклеазой рестрикции Bmt I: m – материнский, p – отцовский, mp – гибридный (M – маркер молекулярного веса ДНК)

Fig. 2. The G-D-1 / Bmt I profiles obtained after treatment of the 675 bp fragment with the restriction endonuclease Bmt I: m – maternal, p – paternal, mp – hybrid (M – DNA molecular weight marker)

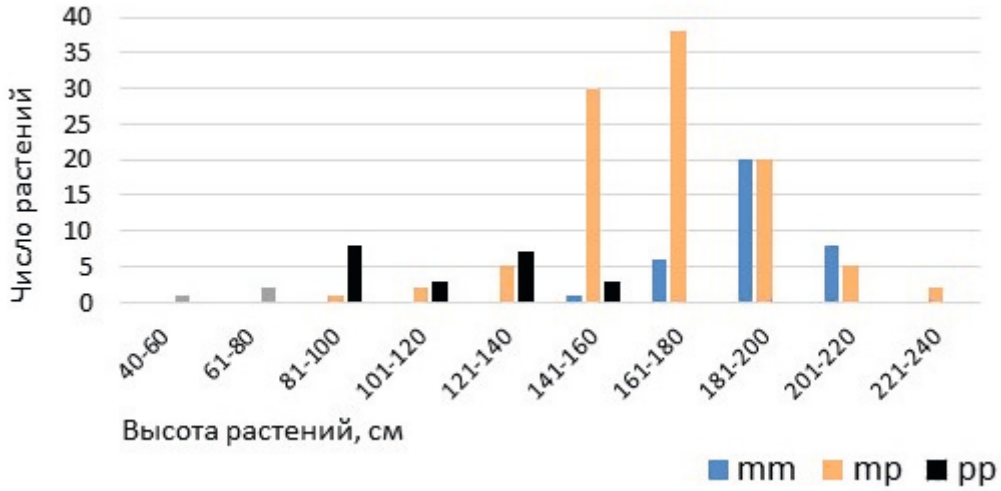


Рис. 3. Распределение по высоте растений F_2 с материнским (m), отцовским (p) и гибридным (mp) профилями CAPS-маркера G-D-1 / Bmt I

Fig. 3. Plant height distribution among the F_2 plants with the maternal (m), paternal (p) and hybrid (mp) profiles of the CAPS marker G-D-1 / Bmt I

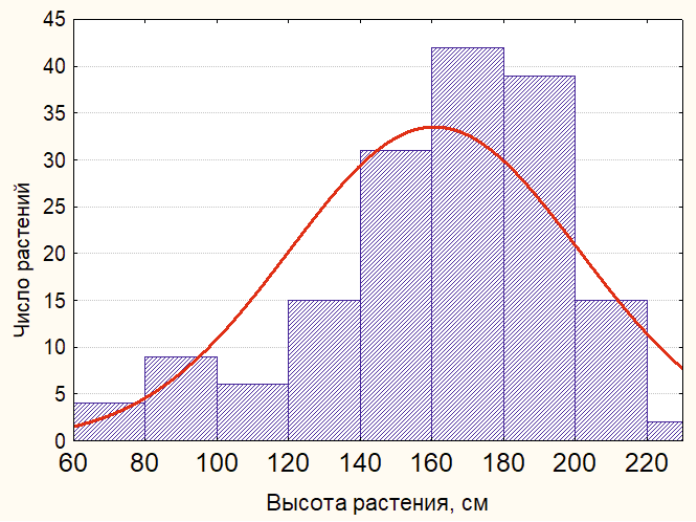


Рис. 4. Распределение фенотипов гибридов F_2 (ВИР 340 × ВИР 171) по высоте растения
(Краснодарский край, Кубанская опытная станция ВИР, 2022 г.)

Fig. 4. Phenotype distribution among the F_2 hybrids (VIR 340 × VIR 171) according to their plant height
(Kuban Experiment Station of VIR, Krasnodar Territory, 2022)

Таблица 3. Анализ расщепления гибридов F_2 (ВИР 340 × ВИР 171) подсолнечника
Table 3. Analysis of the segregation in the F_2 hybrids (VIR 340 × VIR 171) of sunflower

Признак / Character	Фактическое соотношение / Actual ratio	Гипотеза расщепления / Hypothesis of segregation	Теоретически ожидаемое соотношение / Theoretically expected ratio	χ^2	p
высота растения	153 высоких : 13 карликовых	15 : 1	158 : 11	0,52	> 0,05
длина междоузлия	153 : 13	15 : 1	158 : 11	0,52	> 0,05
высота растения и длина междоузлия	142 высоких с длинным междоузлием : 24 низких с междоузлием до 3,9 см	15 : 1	156 : 10,4	13,69	< 0,01
CAPS-маркер G-D-1 / Bmt I	35 : 103 : 24	1 : 2 : 1	40,5 : 81 : 40,5	10,44	< 0,01

Обсуждение

В работе М. Л. Рамос с соавторами (Ramos et al., 2013) обсуждаются три источника карликовости подсолнечника: линия DDR из Германии, а также российские сорта 'Донской' и 'Донской Низкорослый 47'. Все три генотипа не отличаются от стандартных сортов по числу листьев, что свидетельствует об их перспективности для практического использования (Tolmachev, 1992). Сорт 'Донской Низкорослый 47' создан в 1981 г. на Донской опытной станции Всесоюзного института масличных культур имени В. С. Пустовойта (ВНИИМК) на основе короткостебельного образца из коллекции ВИР, полученного из Германии в 1951 г. (к-1885, номер интродукции и-199452). У сорта 'Донской Низкорослый 47' (Rodin, 1976) и полученной из него линии выявлен моногенный характер наследования карликовости (Tolmachev, 1992). Моногенный доминантный характер наследования карликовости установлен и при анализе расщепления по высоте гибридов BC_1F_2 от скрещиваний линии RHA 258 (одной из шести линий, выделенных из источника DDR) с линией HA89, характеризующейся нормальным ростом (Ramos et al., 2013). Наше предположение о дигенном контроле признака карликовости у линии ВИР 171 согласуется с результатами, полученными ранее при изучении короткостебельных линий генетической коллекции ВИР (Yesaev, 1998). К аналогичному выводу пришли и Л. Веласко с соавторами (Velasco et al., 2003) в результате анализа расщеплений по признаку «высота растений» в поколениях BC_1F_1, F_2 и F_3 от скрещиваний карликовой инбредной линии ЦМС DW 89, полученной на основе сорта 'Донской', с высокорослой линией – восстановителем фертильности пыльцы RHA 271. Авторы предположили, что признак карликовости линии DW 89 находится под контролем двух независимых локусов, *Dw1* и *Dw2*; на его проявление оказывают влияние условия среды и эффекты взаимодействия генов. Карликовая линия ВИР 171 (к-2792) создана путем самоопыления сорта 'Mennonite' из Канады (к-2026, и-209958), поступившего в коллекцию ВИР в 1955 г. По-видимому, линия ВИР 171 в своей генеалогии не пересекается с источниками короткостебельности происхождением из Германии.

Генотипически линии ВИР 171 и ВИР 434, имеющие североамериканское происхождение, сходны с источником DDR, на основе которого была создана линия, изученная в работе М. Л. Рамос с соавторами (Ramos et al., 2013). Только у этих двух линий из 27 изученных идентифицирован мутантный аллель *Rht1*, маркером которого является замена нуклеотида Т на С в позиции 143 фрагмента гена *HaDella1*, контролирующего сигналинг гиббереллина. Однако у карликовых и короткостебельных линий коллекции ВИР нет таких изменений признаков, которые описаны в работе М. Л. Рамос с соавторами (Gavrilova et al., 2024). При сравнении со стандартным сортом 'Мастер', кроме значительного снижения высоты растения и длины междоузлия, отмечено также уменьшение размеров листьев, корзинки и семянок, но фертильность пыльцы и продуктивность заметно не страдают. Среди низкорослых линий генетической коллекции ВИР (с высотой растения менее 80 см) выявлены несколько вариантов: 1) линии североамериканского происхождения, схожие по генотипу с источниками карликовости, описанными в литературе (DDR и 'Донской Низкорослый 47'); 2) линии аргентинского происхождения; 3) линии итальянского происхождения; 4) линии, выделенные из стародавних российских сортов (Gavrilova et al., 2014, 2024).

Негативные регуляторы гиббереллинового ответа – транскрипционные факторы DELLA – имеют в своей структуре N-концевой мотив DELLA и мотив GRAS на карбоксильном конце. У ряда растений описаны мутации в последовательностях генов DELLA, изменяющие функциональность белковых продуктов и приводящие к карликовому фенотипу. Для идентификации различных аллелей генов *Rht* мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L., влияющих на высоту растений, разработаны диагностические маркеры (Rasheed et al., 2016; Porotnikov et al., 2022). Миссенс-мутация T>C в последовательности мотива DELLA, идентичная идентифицированной М. Л. Рамос с соавторами (Ramos et al., 2013), была обнаружена в работе Н. Б. Беста с соавторами (Best et al., 2016) у нечувствительного к обработке экзогенной ГК карликового декоративного сорта 'Sunspot', также имеющего в своей генеалогии линию DDR из Германии. Биоинформатическим анализом в геноме подсолнечника идентифицированы пять экспрессирующихся генов DELLA-белков (включая *HaDella1*), три из которых имеют близкие последовательности и, следовательно, сходны функционально.

Возможно, не-менделевский характер расщепления по вариантам CAPS-маркера, разработанного в ходе настоящего исследования, обусловлен тем, что в ходе ПЦР

на матрице *HaDella1* амплифицировался не только целевой фрагмент, но также и фрагменты на матрицах гомологичных генов, имеющих идентичные сайты праймирования, но не имеющих целевого SNP. В результате в ходе реакции могли накапливаться ампликоны, синтезированные на разных матрицах (дикого типа – расщепляется, мутантной – не расщепляется рестриктазой), что проявляется как избыток гетерозигот при недостатке гомозигот по мутантному аллелю *Rht1* (с нуклеотидом С в позиции 143). Возможно, на рост растения влияет еще и другой ген, а также эффекты межаллельного взаимодействия. Тем не менее данные нашего исследования показали, что карлики с характерным фенотипом (высотой не более 80 см, с укороченными междоузлиями) гомозиготны по мутантному аллелю *Rht1*, гетерозигот среди них не обнаружено.

Заключение

Миссенс-мутация T>C в позиции 143 мотива DELLA гена *HaDella1* (локус *Rht1*) изменяет аминокислотную последовательность белка DELLA и приводит к развитию карликового фенотипа подсолнечника. Для ее идентификации может быть использован разработанный в ходе исследования CAPS-маркер G-D-1 / Bmt I. Маркер G-D-1 / Bmt I обнаружен у двух карликовых линий (ВИР 171 и ВИР 434) из 27 изученных и валидирован на материале расщепляющейся гибридной популяции F_2 от скрещивания различающихся по аллелям локуса *Rht1* линий ВИР 340 и ВИР 171. Все карликовые фенотипы в популяции F_2 имели CAPS-маркер аллеля карликовости *Rht1.* Маркер может быть использован для идентификации генотипов, гомозиготных по аллелю карликовости *Rht1*, в коллекционных образцах и гибридных популяциях. На основании менделевского генетического анализа высоты растения, числа листьев и длины междоузлия у гибридов первого и второго поколений комбинации скрещивания различающихся по высоте линий ВИР 340 и ВИР 171 сделано предположение о дигенном контроле карликового фенотипа.

References / Литература

Anashchenko A.V. Guidelines for the study of the world collection of oil crops. Issue II. Sunflower (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu mirovoy kollektsii maslichnykh kultur. Vypusk II. Podsolnechnik). G.G. Davidyan (ed.). Leningrad: VIR; 1978. [in Russian] (Анащенко А.В. Методические указания по изучению мировой коллекции масличных культур. Выпуск II. Подсолнечник / под ред. Г.Г. Давидяна. Ленинград: ВИР; 1978).

Best N.B., Wang X., Brittsan S., Dean E., Helfers S.J., Homburg R. et al. Sunflower 'Sunspot' is hyposensitive to GA3 and has a missense mutation in the DELLA motif of HaDELLA1. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 2016;141(4): 389-394. DOI: 10.21273/JASHS.141.4.389

Bilova T.E., Ryabova D.N., Anisimova I.N. Molecular basis of the dwarfism character in cultivated plants. I. Growth distortions due to mutations of gibberellin metabolism and signaling (review). *Agricultural Biology*. 2016;51(1):3-16. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.1.3eng

Borojevic Kat., Borojevic Ks. The transfer and history of "reduced height genes" (*Rht*) in wheat from Japan to Europe. *The Journal of Heredity*. 2005;96(4):455-459. DOI: 10.1093/jhered/esi060

Cheng X., Huang Y., Tan Y., Tan L., Yin J., Zou G. Potentially useful dwarfing or semi-dwarfing genes in rice breeding in addition to the *sd1* gene. *Rice (N Y).* 2022;15(1):66. DOI: 10.1186/s12284-022-00615-y

Davière J.M., Achard P. Gibberellin signaling in plants. *Development*. 2013;140(6):1147-1151. DOI: 10.1242/dev.087650

Enns H., Dorrell D.G., Hoes J.A., Chubb W.O. Sunflower research – A progress reports. In: *Proceedings of the 4th International Sunflower Conference*. Memphis, TN: International Sunflower Association; 1970. p.162-167.

Eshed Y., Lippman Z.B. Revolutions in agriculture chart a course for targeted breeding of old and new crops. *Science*. 2019;366(6466):eaax0025. DOI: 10.1126/science.aax0025

Fambrini M., Mariotti L., Parlanti S., Salvini M., Pugliesi C. A *GRAS*-like gene of sunflower (*Helianthus annuus* L.) alters the gibberellin content and axillary meristem outgrowth in transgenic *Arabidopsis* plants. *Plant Biology*. 2015;17(6):1123-1134. DOI: 10.1111/plb.12358

Gavrilova V.A., Makarova L.G., Stupnikova T.G., Bemova V.D., Anisimova I.N. Short-stemmed VIR lines for developing low-growth sunflower varieties and hybrids. *Journal of Agriculture and Environment*. 2024;1(41):10619. [in Russian] (Гаврилова В.А., Макарова Л.Г., Ступникова Т.Г., Бемова В.Д., Анисимова И.Н. Короткостебельные линии ВИР для создания низкорослых сортов и гибридов подсолнечника. *Journal of Agriculture and Environment*. 2024;1(41):10619). DOI: 10.23649/JAE.2024.41.21

Gavrilova V.A., Rozhkova V.T., Anisimova I.N. Sunflower genetic collection at the Vavilov Institute of Plant Industry. *Helia*. 2014;37(60):1-16. DOI: 10.1515/helia-2014-0001

Hedden P. The genes of the Green Revolution. *Trends in Genetics*. 2003;19(1):5-9. DOI: 10.1016/S0168-9525(02)00009-4

Itoh H., Shimada A., Ueguchi-Tanaka M., Kamiya N., Hasegawa Y., Ashikari M. et al. Overexpression of a GRAS protein lacking the DELLA domain confers altered gibberellin responses in rice. *Plant Journal*. 2005;44(4):669-679. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2005.02562.x

Lawit S.J., Wych H.M., Xu D., Kundu S., Tomes D.T. Maize DELLA proteins dwarf plant8 and dwarf plant9 as modulators of plant development. *Plant and Cell Physiology*. 2010;51(11):1854-1868. DOI: 10.1093/pcp/pcq153

Li J.T., Yang J., Chen D.C., Zhang X.I., Tang Z.S. An optimized mini-preparation method to obtain high-quality genomic DNA from mature leaves of sunflower. *Genetics and Molecular Research*. 2007;6(4):1064-1071.

Mariotti L., Fambrini M., Pugliesi C., Scartazza A. The gibberellin-deficient *dwarf2* mutant of sunflower shows a high constitutive level of jasmonic and salicylic acids and an elevated energy dissipation capacity in well-watered and drought conditions. *Environmental and Experimental Botany*. 2022;194:104697. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2021.104697

Mariotti L., Fambrini M., Scartazza A., Picciarelli P., Pugliesi C. Characterization of lingering hope, a new brachytic mutant in sunflower (*Helianthus annuus* L.) with altered salicylic acid metabolism. *Journal of Plant Physiology*. 2018;231:402-414. DOI: 10.1016/j.jplph.2018.10.020

Martin D.N., Proebsting W.M., Hedden P. Mendel's dwarfing gene: cDNAs from the *Le* alleles and function of the expressed proteins. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1997;94(16):8907-8911. DOI: 10.1073/pnas.94.16.8907

Merezhko A.F. Genetic analysis of quantitative traits for solution of plant breeding problems. *Russian Journal of Gene-*

tics. 1994;30(10):1317-1325. [in Russian] (Мережко А.Ф. Генетический анализ количественных признаков для решения задач селекции растений. *Генетика.* 1994;30(10):1317-1325).

Porotnikov I.V., Mitrofanova O.P., Antonova O.Yu. A system of molecular markers to identify alleles of the *Rht-B1* and *Rht-D1* genes controlling reduced height in bread wheat. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;26(2):128-138. DOI: 10.18699/VJGB-22-16

Ramos M.L., Altieri E., Bulos M., Sala C.A. Phenotypic characterization, genetic mapping and candidate gene analysis of a source conferring reduced plant height in sunflower. *Theoretical and Applied Genetics*. 2013;126(1):251-263. DOI: 10.1007/s00122-012-1978-4

Rasheed A., Wen W., Gao F., Zhai S., Jin H., Liu J. et al. Development and validation of KASP assays for genes underpinning key economic traits in bread wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2016;129(10):1843-1860. DOI: 10.1007/s00122-016-2743-x

Rodin V.F. Concerning the inheritance of dwarfism in sunflower (K voprosu nasledovaniya nizkoroslosti u podsolnechnika). *Byulleten nauchno-tekhnicheskoy informatsii po maslichnym kulturam = Bulletin of Scientific and Technical Information on Oil Crops*. 1976;(2):8-12. [in Russian] (Родин В.Ф. К вопросу наследования низкорослости у подсолнечника. *Бюллетень научно-технической информации по масличным культурам*. 1976;(2):8-12).

Sarwar R., Zhu K.M., Jiang T., Ding P., Gao Y., Tan X.L. DELLAs directed gibberellins responses orchestrate crop development: A brief review. *Crop Science*. 2023;63(1):1-28. DOI: 10.1002/csc2.20825

Sukhikh I.S., Vavilova V.J., Blinov A.G., Goncharov N.P. Diversity and phenotypical effect of allelic variants of *Rht* dwarfing genes in wheat. *Russian Journal of Genetics.* 2021;57(2):127-138. DOI: 10.1134/S1022795421020101

Tolmachev V.V. Stem shortness (Korotkostebelnost). In: *Sunflower Biology, Breeding, and Cultivation* (*Biologiya, selektsiya i vozdelyvaniye podsolnechnika*). Moscow: Agropromizdat; 1992. p.44-45. [in Russian] (Толмачев В.В. Короткостебельность. В кн.: *Биология, селекция и возделывание подсолнечника*. Москва: Агропромиздат; 1992. С.44-45).

Van De Velde K., Thomas S.G., Heyse F., Kaspar R., Van Der Straeten D., Rohde A. N-terminal truncated RHT-1 proteins generated by translational reinitiation cause semi-dwarfing of wheat Green Revolution alleles. *Molecular Plant*. 2021;14(4):679-687. DOI: 10.1016/j.molp.2021.01.002

Velasco L., Pérez-Vich B., Muñoz-Ruz J., Fernández-Martínez J.M., Friedt W. Inheritance of reduced height in the sunflower line DW 89. *Plant Breeding*. 2003;122(5):441-443. DOI: 10.1046/j.1439-0523.2003.00881.x

Voronova O.N., Gavrilova V.A. Quantitative and qualitative analysis of sunflower pollen (*Helianthus* L.) and its use in breeding work. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding.* 2019;180(1):95-104. [in Russian] (Воронова О.Н., Гаврилова В.А. Количественный и качественный анализ пыльцы подсолнечника (*Helianthus* L.) и его использование в селекционной работе. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(1):95-104). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-95-104

Würschum T., Langer S.M., Longin C.F.H., Tucker M.R., Leiser W.L. A modern Green Revolution gene for reduced height in wheat. *The Plant Journal*. 2017;92(5):892-903. DOI: 10.1111/tpj.13726

Xu Y., Jia Q., Zhou G., Zhang X.Q., Angessa T., Broughton S. et al. Characterization of the *sdw1* semi-dwarf gene in barley. *BMC Plant Biology*. 2017;17(1):11. DOI: 10.1186/s12870-016-0964-4

Xue H., Gao X., He P., Xiao G. Origin, evolution, and molecular function of DELLA proteins in plants. *The Crop Journal*. 2022;10(2):287-299. DOI: 10.1016/j.cj.2021.06.005

Yakovleva E.A., Morpho-anatomical features of a short-stemmed sunflower shoot (Morfologo-anatomicheskiye osobennosti pobega korotkostebelnogo podsolnechnika) [dissertation]. St. Petersburg: VIR; 2006. [in Russian] (Яковлева Е.А. Морфолого-анатомические особенности побега короткостебельного подсолнечника: дис. … канд. биол. наук. Санкт-Петербург: ВИР; 2006).

Yesaev A.L. Genetic control of stem shortness in a number of inbred lines of cultivated sunflower (Geneticheskiy kontrol korotkostebelnosti u nekotorykh inbrednykh liniy kulturnogo podsolnechnika) [dissertation]. St. Petersburg: VIR; 1998. [in Russian] (Есаев А.Л. Генетический контроль короткостебельности у некоторых инбредных линий культурного подсолнечника: дис. … канд. биол. наук. Санкт-Петербург: ВИР; 1998).

Информация об авторах

Ирина Николаевна Анисимова, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, irina_anisimova@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0003-0474-8860

Галина Васильевна Хафизова, кандидат биологических наук, постдокторант, Лаборатория GENESIS, Хьюстонский университет, 77204 Соединенные Штаты Америки, Техас, Хьюстон, galina.khafizova@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4427-5116

Лариса Георгиевна Макарова, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, larisa.mackarova@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-7913-3815

Наталья Владимировна Алпатьева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, alpatievanatalia@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5531-2728

Мария Константиновна Рязанова, аспирант, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, m.ryazanova@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0003-4444-3658

Оксана Михайловна Борисенко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта, 350038 Россия, Краснодар, ул. Филатова, 17, oks-bor@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0001-9221-3999

Вера Алексеевна Гаврилова, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, v.gavrilova@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-8110-9168

Information about authors

Irina N. Anisimova, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000, Russia, irina_anisimova@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0003-0474-8860

Galina V. Khafizova, Cand. Sci. (Biology), Postdoctoral Researcher, GENESIS Laboratory, University of Houston, Houston, Texas 77204, United States of America, galina.khafizova@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4427-5116

Larisa G. Makarova, Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, larisa.mackarova@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-7913-3815

Natalia V. Alpatieva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, alpatievanatalia@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5531-2728

Maria K. Ryazanova, Postgraduate Student, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, m.ryazanova@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0003-4444-3658

Oksana M. Borisenko, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, 17 Filatova St., Krasnodar 350038, Russia, oks-bor@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0001-9221-3999

Vera A. Gavrilova, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, v.gavrilova@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-8110-9168

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 23.06.2024; одобрена после рецензирования 19.07.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 23.06.2024; approved after reviewing on 19.07.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article
UDC 633.12:581.167
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-147-156

CC BY

Maintenance of inflorescence size variability within common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) cultivars of various origin: the phenomenon and its possible causes

Aleksey N. Fesenko, Ivan N. Fesenko, Oksana V. Biryukova

Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops, Orel, Russia

Corresponding author: Ivan N. Fesenko, ivanfesenko@rambler.ru

Background. Intrapopulation polymorphism usually can be interpreted as a result of balancing selection, but the basic mechanisms of such selection are not always clear. Earlier we documented a wide variation in the inflorescence size within one of the most genetically uniform common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) cultivar 'Skorospelaya 86', with larger sizes controlled by recessive alleles of multiple genes. The objective of the present work was to analyze the variation within a set of buckwheat cultivars representing different morphological types of the crop, and try to make out possible mechanisms that underlie it.
Material and methods. A set of buckwheat cultivars of various origin and belonging to different morphological types were analyzed. The size of inflorescences was assessed as a number of their iterative subunits, i.e., partial floret clusters (PFCs). The number of mature seeds in the entire inflorescence and various PFCs was also counted.
Results and conclusions. All the cultivars were variable, with the range at the species level from 6 to 24 PFCs. Accumulation of the genes determining a larger inflorescence seems to be simply explained: larger inflorescences tended to produce more seeds than smaller ones. However, it is not so easy to explain the maintenance of the inflorescence size variability, i.e., why the alleles determining small inflorescences were not lost during the artificial selection for higher seed productivity. Probably, such polymorphism may be useful for maintaining heterosis at the population level.

Keywords: morphological type, partial floret cluster, variability, balancing selection

Acknowledgements: the authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Fesenko A.N., Fesenko I.N., Biryukova O.V. Maintenance of inflorescence size variability within common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) cultivars of various origin: the phenomenon and its possible causes. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):147-156. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-147-156

© Fesenko A.N., Fesenko I.N., Biryukova O.V., 2024

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-147-156

Поддержание изменчивости по размеру соцветия у сортов гречихи обыкновенной (*Fagopyrum esculentum* Moench) различного происхождения: явление и его возможные причины

А. Н. Фесенко, И. Н. Фесенко, О. В. Бирюкова

Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур, Орел, Россия

Автор, ответственный за переписку: Иван Николаевич Фесенко, ivanfesenko@rambler.ru

Актуальность. Внутрипопуляционный полиморфизм обычно можно интерпретировать как результат балансирующего отбора, но механизмы, лежащие в основе такого отбора, не всегда ясны. Для гречихи обыкновенной характерен широкий полиморфизм по размеру соцветия, который был обнаружен даже у одного из наиболее генетически однородных сортов 'Скороспелая 86'. Крупное соцветие контролируется рецессивными аллелями множества генов, то есть это вторичный признак, возникший, по-видимому, в результате окультуривания. Аллели, определяющие более мелкие соцветия, тоже поддерживаются в сортовых популяциях. Целью настоящей работы было проанализировать изменчивость в пределах сортов гречихи, представляющих разные морфологические типы культуры, и попытаться выяснить возможные механизмы, лежащие в ее основе.
Материалы и методы. Проанализирован ряд сортов гречихи разного происхождения и разных морфологических типов. Размер соцветия оценивали как количество его повторяющихся субъединиц, то есть элементарных соцветий (ЭлС). Также подсчитывали количество зрелых семян во всем соцветии и различных ЭлС.
Результаты и заключение. Все сорта были полиморфны по анализируемому признаку. Диапазон изменчивости на видовом уровне составил от 6 до 24 ЭлС. Накопление генов, определяющих более крупные соцветия, объясняется просто: более крупные соцветия имеют тенденцию формировать больше семян. Однако трудно объяснить сохранение изменчивости по размеру соцветия, то есть почему аллели, определяющие маленькое соцветие, не были утрачены в ходе искусственного отбора на более высокую семенную продуктивность. Вероятно, такой полиморфизм может быть полезен для поддержания гетерозиса на популяционном уровне.

Ключевые слова: морфологический тип, элементарное соцветие, изменчивость, балансирующий отбор

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Фесенко А.Н., Фесенко И.Н., Бирюкова О.В. Поддержание изменчивости по размеру соцветия у сортов гречихи обыкновенной (*Fagopyrum esculentum* Moench) различного происхождения: явление и его возможные причины. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):147-156. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-147-156

Introduction

Maintaining polymorphism within populations for non-neutral traits reveals some mechanisms of the balancing selection whose nature is usually a fundamental question in evolutionary biology (Delph, Kelly, 2014; Gulisija, Kim, 2015). Within-population polymorphism in cultivated species represents a special issue, as it is likely to contribute to their yieldability, but contradicts typical trends toward reduction in the genetic diversity of cultivated plants, i.e., genetic erosion provoked by selecting variants most suitable for agriculture (Dyer et al., 2014; Fu, 2015). Understanding the mechanisms of diversity maintenance could improve breeding approaches to cultivated species.

Common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) is a species with functional dimorphic heterostyly providing obligate insect-mediated cross-pollination (Fesenko, 1983). All buckwheat cultivars are characterized by prolonged plentiful flowering. White or slightly pink flowers of 8–10 mm in diameter are united in partial floret clusters, or partial inflorescences; they are subunits of sufficiently long inflorescences developing in leaves axils. The cultivars grown in Russia over the past century showed a significant increase in the average weight of a thousand seeds (M_{1000}): from 18–22 g to 25–30 g, sometimes up to more than 30 g (large-grain cultivars). Cultivars with the largest grain are characterized by a slight decrease in the number of inflorescences on the shoots, which is regarded as the physiological determination of growth (Fesenko et al., 2018). Nevertheless, all contemporary buckwheat cultivars have retained the proneness to prolonged flowering. A buckwheat flower lives for one day, and then it either dies off or forms a single seed within three weeks. Only 10.5–18.7% of flowers set seeds. Seed filling is highly sensitive to environmental stressors, and usually only 57.8–68.0% of young seeds complete their development (Fesenko et al., 2018). This phenomenon may be explained by prolonged overlapping in the development of vegetative and generative structures of buckwheat plants (Fesenko, 1983).

Buckwheat domestication and breeding were accompanied by an increase in the size of inflorescences, i.e., the number of partial floret clusters (PFCs) in the inflorescence, due to the accumulation of recessive plus-alleles of multiple genes, which factually means mutations with a minor effect, increasing the quantitative characteristics of the trait (Fesenko I.N., Fesenko A.N., 2011). In addition, in cultivar populations, unlike closely related wild species, a broad polymorphism in the number of PFCs in inflorescences was documented (Fig. 1). For example, plants of *F. esculentum* cv. 'Skorospelaya 86', which was included in the experiment on the genetic analysis of the size of inflorescences, formed from 9 to 22 PFCs in the inflorescence; the C9139 line of the wild autogamous species *F. homotropicum* Ohnishi, participating in the same experiment, was characterized by very small polymorphism for this trait (7–10 PFCs) (Fesenko I.N., Fesenko A.N., 2011). *F. esculentum* and *F. homotropicum* are closely related, and in their interspecific hybrids some traits with single-gene control segregate in Mendelean manner (Fesenko N.N., Fesenko I.N., 2015). It should be noted that cv. 'Skorospelaya 86', according to the metameric structure of the branching zone (i.e., the number of vegetative nodes) on the main stem and branches, looked like an almost homozygous line (Fesenko I.N., Fesenko A.N., 2011).

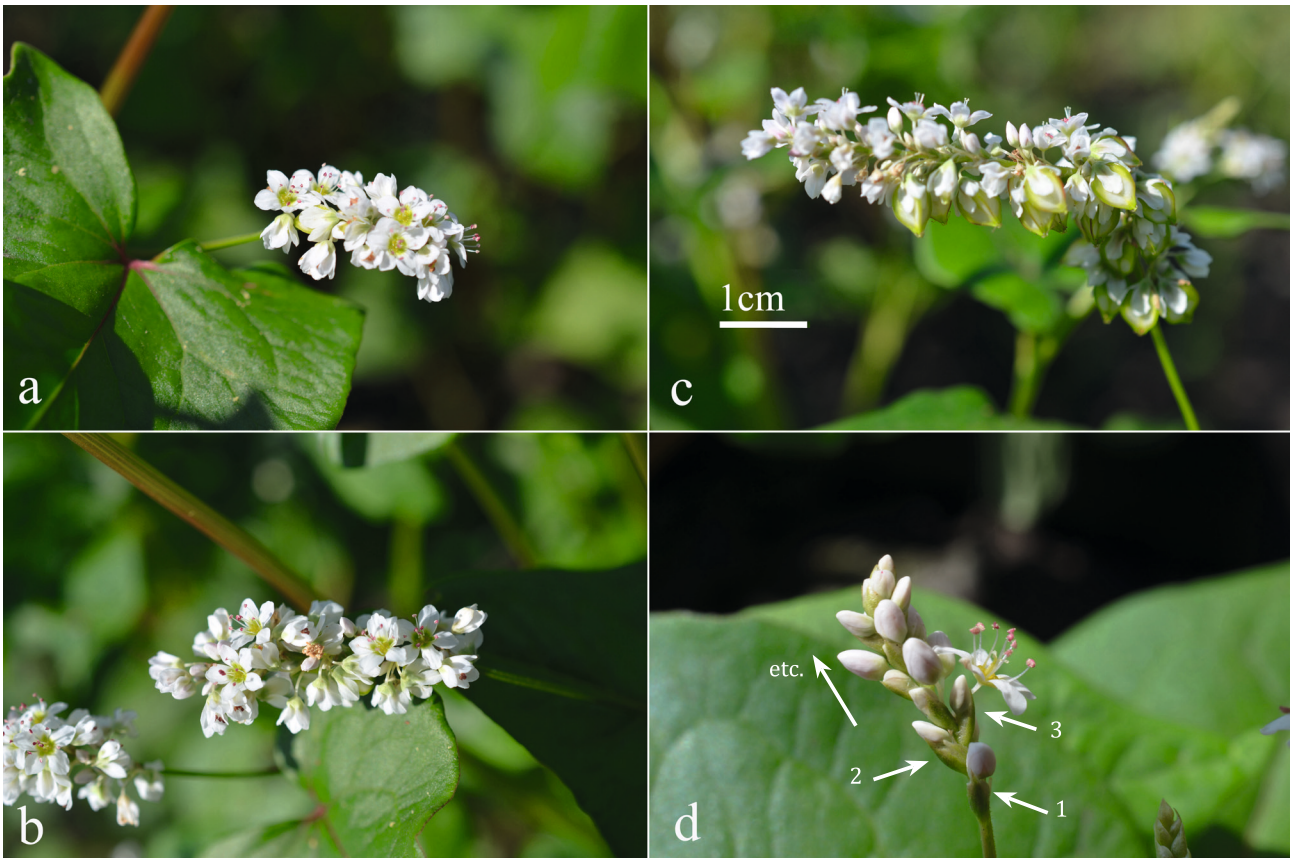


Figure. Common buckwheat inflorescences: a – small; **b** – medium; **c** – large (scale bar only for a, b, and c); **d** – the numbering order of partial floret clusters in an inflorescence of buckwheat

Рисунок. Соцветия гречихи обыкновенной: a – мелкое; **b** – среднее; **c** – крупное (масштаб только для a, b и c); **d** – порядок нумерации элементарных соцветий в соцветии гречихи

Common buckwheat breeding successfully used several forms that were morphologically (and physiologically) different from the originally domesticated populations ("traditional" type), characterized by the indeterminate type of growth and shoots terminating with "umbels". Contemporary cultivars are sufficiently diverse, each belonging to one of four types, including the "traditional" one (Fesenko et al., 2018). One of them includes plant forms with the determinate growth habit, i.e., restricting the development of the generative zone of shoots to 2–5 inflorescences, without a possibility of forming additional inflorescences: the shoot ends in a lateral-like inflorescence. The second morphological type is characterized by physiological limitation of the generative zone growth (earlier cessation of the development of the generative zone, but without clear terminating, in terms of morphology). The third morphological type manifests limited secondary branching, when 0 to 1 vegetative nodes are formed on the upper branch, instead of two vegetative nodes in other types of cultivars (Fesenko et al., 2018).

We analyzed several groups of buckwheat cultivars, representing all the main morphological types, i.e., obtained using very different materials and different breeding approaches. Despite some differences among the groups of cultivars in their variation ranges, they manifest high levels of polymorphism in the inflorescence size within each of them. Plants with the largest inflorescences are found within the group of determinant cultivars. It has been shown that within one and the same group of cultivars, larger inflorescences, on average, usually produce more seeds, but these additional seeds in most cases are formed in PFCs located closer to the base of the inflorescence, but not in additional PFCs. The objective of the article was to describe and discuss the results of studying this phenomenon.

Materials and methods

Abbreviations and brief characteristics of the morphological types (Fesenko et al., 2018)

IGH – indeterminate growth habit. The cultivars of this type demonstrate potentially unlimited development of shoots. Morphologically, they are similar to buckwheat landraces from Orel Province.

KS – an unusual type of cultivars, named after cv. 'Krasnostreletskiy', the first cultivar of such type. Main characteristics of these cultivars are large seed size and physiological determination of growth, i.e., earlier cessation of the generative zone development, but without clear mutation-derived changes in morphology.

LSB – limited secondary branching. The LSB-type plants are characterized by reduced numbers of vegetative nodes on upper branches (0–1, instead of 2–3 in non-LSB plants). Commercial cultivars of the LSB type include a significant share of such plants, usually more than 25%.

DGH – determinate growth habit. DGH-type cultivars have reduced numbers of inflorescences on all shoots (2–5 inflorescences vs. potentially unlimited shoot development in the IGH type). The trait is determined by the recessive mutation *d* (*det*) (Fesenko, 1983).

Plant material

Plant materials are shown in Table 1.

Seeds of all improved cultivars used in the experiment (except for the cultivars developed at the Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops, previously All-Russian Research Institute of Grain Legumes and Groat Crops) were supplied from the collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia.

Experimental approaches

The material for analyses was collected from plots for variety testing, 10 m^2 each. Sowing dates were as follows: May 22 in 2017, May 21 in 2018, and May 22 in 2019. The sowing rate was 300 seeds/m^2. Plants for analyses were selected randomly.

Since any plant consists of iterative units (for example, vegetative and generative nodes on the main stem, or partial floret clusters in an inflorescence) (White, 1979), we have used the number of such units (i.e., partial floret clusters) in an inflorescence to characterize its size.

The number of partial floret clusters (PFCs) and the number of seeds per each PFC were assessed in the first inflorescence on the main stem of every plant. To characterize each accession (cultivar or local population), 19–24 plants were analyzed. In several cases, the material of the same cultivar was collected 2–4 times from different plots in the field. The data were added to the statistics to describe the morphological types. To optimize the data presentation, we summarized the numbers of seeds in every part of the inflorescence, consisting of three PFCs each (counting from the base): 1–3, 4–6, 7–9, etc. Significance levels of detected differences were verified using *t*-statistics.

Results

Size and seed productivity of the inflorescence: differences among the groups of cultivars

We analyzed a set of cultivars and landraces representing almost all morphological types of cultivated buckwheat in Russia. The cultivars had been developed by six different breeding centers during almost a century of breeding efforts. In addition, two landraces from Orel Province were included in the analysis.

Buckwheat cultivars of all morphological types were variable in the number of partial floret clusters (PFCs) (Table 2). The ranges of variation were similar in most cases. Only the DGH group differed from the others. The largest inflorescences were found in this group, up to 24 PFCs in size; the average number of PFCs also was higher than in any other group of cultivars (t = 2.87–9.87; P = 0.01–0.001).

In 2017 and 2018, the DGH group significantly exceeded all others in the number of seeds per inflorescence; in 2019, DGH cultivars produced more seeds per inflorescence than IGH landraces and IGH improved cultivars (t = 3.09 and 2.59; P = 0.001 and 0.01, respectively), but no significant differences were observed with LSB and KS cultivars (t = 0.06 and 1.92, respectively). An explicit and significant difference between the LSB and DGH groups in the size of their inflorescences and, on the other hand, similarity of these groups in the number of seeds per inflorescence, suggested that seed productivity per inflorescence not always depended on the number of PFCs forming the inflorescence.

In 2017, cultivars of the LSB group produced larger inflorescences than KS cultivars (t = 4.04; P = 0.001), and a higher average number of seeds per inflorescence compared to both IGH landraces and IGH improved cultivars (t = 2.89 and 4.25; P = 0.01 and 0.001, respectively). Inflorescences of KS cultivars, on average, were larger, albeit insignificantly (t = 1.49), compared to IGH landraces, and smaller compared to all other groups (t = 3.09–9.24; P = 0.01–0.001); their seed number per inflorescence was larger than in IGH landraces (t = 2.11; P = 0.05) and IGH improved cultivars (t = 4.09; P = 0.001).

Table 1. **Populations and cultivars of *Fagopyrum esculentum* Moench included in the experiment**
Таблица 1. **Популяции и сорта *Fagopyrum esculentum* Moench, задействованные в работе**

Cultivar type	Cultivar, accession	Catalogue No.	Year of registration	Region
IGH landraces		406		Orel Province
		1709		Orel Province
IGH improved cultivars	'Bogatyr'[1]	3785	1938	Orel Province
	'Shatilovskaya 5'[1]	4177	1967	Orel Province
	'Kalininskaya'[2]	3930	1954	Tver Province
	'Aromat'[3]	4399	1985	Orel Province
KS	'Agidel'[4]	4535	2001	Bashkortostan
	'Inzerskaya'[4]	4536	2002	Bashkortostan
	'Ilishevskaya'[4]	4563	2008	Bashkortostan
	'Bashkirskaya Krasnostebelnaya'[4]	4560	2009	Bashkortostan
	'Kazanka'[5]	4509	1989	Tatarstan
	'Karakityanka'[5]	4540	1991	Tatarstan
	'Kama'[5]	4518	1993	Tatarstan
	'Saulyk'[5]	4541	1997	Tatarstan
	'Cheremshanka'[5]	4540	2001	Tatarstan
	'Chatyr-Tau'[5]	4548	2005	Tatarstan
	'Batyr'[5]	4561	2008	Tatarstan
	'Kuibyshevskaya 85'[6]	4446	1985	Samara Province
LSB	'Ballada'[3]	4398	1985	Orel Province
	'Esen'[3]	4473	1993	Orel Province
	'Molva'[3]	4511	1997	Orel Province
DGH	'Sumchanka'[3]	4397	1985	Orel Province
	'Dozhdik'[3]	4469	1998	Orel Province
	'Dikul'[3]	4523	1999	Orel Province
	'Devyatka'[3]	4539	2004	Orel Province
	'Dialog'[3]	4549	2008	Orel Province
	'Druzhina'[3]	4602	2014	Orel Province
	'Dasha'[3]	4610	2018	Orel Province

Note: originators: 1 – Shatilovo Agricultural Experiment Station, Orel Province; 2 – Research Institute of Agricultural Land Reclamation, Tver Province; 3 – Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops, Orel; 4 – Bashkir Research Institute of Agriculture, Ufa; 5 – Tatar Research Institute of Agriculture, Kazan; 6 – N.M. Tulaykov Research Institute of Agriculture, Samara

Примечание: оригинаторы: 1 – Шатиловская сельскохозяйственная опытная станция, Орловская область; 2 – НИИ сельскохозяйственного использования мелиорированных территорий, Тверская область; 3 – Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур, Орел; 4 – Башкирский НИИСХ, Уфа; 5 – Татарский НИИСХ, Казань; НИИСХ им. Н.М. Тулайкова, Самара

Table 2. **Numbers of partial floret clusters and seeds per inflorescence in the groups of cultivars representing different morphological types (MT)**

Таблица 2. **Число элементарных соцветий и семян в соцветии в группах сортов разного морфологического типа (MT)**

MT	Year	Number of partial floret clusters (PFCs)		Seeds per inflorescence
		Mean ± SE	Range	X ± m
IGH landraces	2017	11.48 ± 0.41	(6–16)	2.67 ± 0.28
	2018	10.90 ± 0.52	(3–19)	1.88 ± 0.36
	2019	9.33 ± 0.45	(4–16)	6.00 ± 0.62
IGH improved cultivars	2017	11.73 ± 0.25	(5–18)	2.25 ± 0.22
	2018	9.69 ± 0.32	(4–18)	2.72 ± 0.26
	2019	10.06 ± 0.29	(4–20)	6.89 ± 0.37
KS	2017	10.83 ± 0.15	(5–18)	3.34 ± 0.15
	2018	9.60 ± 0.18	(4–18)	2.62 ± 0.15
	2019	10.05 ± 0.18	(4–18)	7.27 ± 0.33
LSB	2017	12.52 ± 0.39	(6–19)	3.90 ± 0.32
	2018	11.26 ± 0.43	(4–18)	2.71 ± 0.27
	2019	10.12 ± 0.38	(5–16)	8.18 ± 0.58
DHG	2017	13.93 ± 0.30	(6–23)	5.33 ± 0.30
	2018	13.31 ± 0.33	(4–24)	4.69 ± 0.29
	2019	12.39 ± 0.24	(4–24)	8.14 ± 0.31

In 2018, LSB cultivars exceeded those of the KS and IGH groups in their average inflorescence size (t = 3.56 and 2.93; P = 0.001 and 0.01, respectively), but in the number of seeds per inflorescence they did not surpass any of the other groups. On average, IGH landraces developed larger inflorescences than the KS group or IGH improved cultivars, but there were no significant differences between them in seed productivity per inflorescence.

Does a larger inflorescence produce more seeds?

Partial floret clusters (PFCs) are very differently involved in seed production. For example, from 46.4 to 73.8% of seeds in an inflorescence are developed within the first to third PFC. The PFCs from the first through the ninth produce from 88.8 to 98.9% of all seeds per inflorescence, with the first twelve PFCs usually producing almost all the seeds in an inflorescence (95.8–100%) (Table 3).

In 2018, the difference in seed numbers per inflorescence between the large (13–24 PFCs) and the medium-sized (10–12 PFCs) inflorescences of the DGH group was 56% (t = 3.02; P = 0.01), although the PFCs 13th to 24th yielded only 4.1% of the seeds; in 2019, seed productivity of the inflorescences with 13–18 PFCs was 20% higher than of those with 10–12 PFCs (t = 2.34; P = 0.02), although the PFCs 13th to 18th produced only 2.3% of the seeds (Tables 3 and 4).

In 2019, the inflorescences of the KS group with 13–18 PFCs were on average 30% more productive than those with 10–12 PFCs, but the contribution of the PFCs 13th to 18th to the productivity was only 1.4%.

The most illustrative example was obtained in 2017 from the local landrace populations: the average productivity of larger inflorescences (with 13–16 PFCs) was 1.5 times higher than that of the inflorescences comprising no more than 12 PFCs, despite the fact that no seeds were formed in the PFCs 13th to 16th.

Thus, larger inflorescences sometimes show better seed productivity than smaller ones in plants of the same population, and sometimes these differences are statistically significant. However, such an increase in the inflorescence productivity was not, as a rule, associated with the formation of additional seeds in additional PFCs. The physiological basis of this phenomenon remains unclear.

Discussion

Variations in the inflorescence/floral display size within a genus comprising species with alternative mating systems is sometimes explained in terms of the reproduction costs concept proposed by O. T. Solbrig (1979): cross-pollination has advantages, but usually requires some additional resources to ensure pollen transfer between plants (Krizek, An-

Table 3. **Seed setting within different partial floret clusters (PFCs) in the groups of cultivars representing different morphological types (MT)**

Таблица 3. **Завязывание семян в разных элементарных соцветиях в группах сортов разного морфологического типа (MT)**

MT	Year	Number of seeds (mean ± SE) in the PFCs:				
		1st to 3rd	4th to 6th	7th to 9th	10th to 12th	13th to 24th
IGH landraces	2017	1.88 ± 0.22	0.60 ± 0.13	0.13 ± 0.05	0.08 ± 0.08	
	2018	1.30 ± 0.19	0.30 ± 0.10	0.15 ± 0.09	0.08 ± 0.08	0.05 ± 0.05
	2019	3.23 ± 0.31	1.95 ± 0.24	0.67 ± 0.19	0.15 ± 0.09	
IGH improved cultivars	2017	1.63 ± 0.19	0.46 ± 0.08	0.14 ± 0.06	0.03 ± 0.03	
	2018	1.90 ± 0.17	0.56 ± 0.09	0.18 ± 0.05	0.05 ± 0.03	0.03 ± 0.03
	2019	3.64 ± 0.18	2.14 ± 0.15	0.87 ± 0.10	0.19 ± 0.05	0.05 ± 0.03
KS	2017	2.61 ± 0.08	0.86 ± 0.06	0.32 ± 0.04	0.05 ± 0.02	
	2018	1.80 ± 0.10	0.60 ± 0.06	0.17± 0.03	0.03 ± 0.01	0.01 ± 0.01
	2019	3.24 ± 0.13	2.44 ± 0.12	1.14 ± 0.09	0.34 ± 0.06	0.10 ± 0.04
LSB	2017	2.58 ± 0.12	0.88 ± 0.10	0.33 ± 0.06	0.07 ± 0.03	
	2018	2.02 ± 0.17	0.56 ± 0.11	0.10 ± 0.04	0.05 ± 0.03	
	2019	4.10 ± 0.25	2.68 ± 0.25	1.10 ± 0.18	0.25 ± 0.08	0.05 ± 0.05
DGH	2017	2.79 ± 0.15	1.39 ± 0.13	0.66 ± 0.10	0.38 ± 0.09	0.10 ± 0.04
	2018	2.36 ± 0.12	1.23 ± 0.11	0.57 ± 0.07	0.33 ± 0.06	0.19 ± 0.06
	2019	3.78 ± 0.14	2.38 ± 0.11	1.23 ± 0.09	0.56 ± 0.07	0.19 ± 0.04

derson, 2013; Howard, Barrows, 2014; Oliveira et al., 2021). For example, wild species with insect-mediated cross-pollination tend to develop some features providing pollinators' targeting (Dart et al., 2012), since their plants are usually located separately, i.e., at some distance from one another. A showy floral display is considered as one of the main adaptations to implement such targeting (Howard, Barrows, 2014). For common buckwheat monocenoses, however, the pollinators' concentration is sufficient for successful pollination of all flowers. Therefore, larger inflorescences in buckwheat, likely being a result of domestication (Fesenko I.N., Fesenko A.N., 2011), is hardly a consequence of selection for the attractiveness to insects. Low seed productivity can be extremely rarely (almost never) associated with a lack of pollinators (Fesenko, 1983). Thus, the large inflorescence may well be a consequence of the selection for seed productivity, based on some other mechanisms.

Our research showed that large inflorescences had more chances to produce some additional seeds. Therefore, the accumulation of the alleles determining a larger inflorescence seems to be simply explained: on average, larger inflorescences tend to produce more seeds than smaller ones. This tendency is especially clear in cultivars with a determinate growth habit, which produce the largest inflorescences. But this difference is associated with an unclear physiological mechanism, since most additional seeds in larger inflorescences have been formed near their base (in PFCs from 1st to 12th). Probably, the size of the inflorescence can influence the strength of photosynthesis product attraction (sink strength). The photosynthesis intensity is well known to have feedback regulation by sink strength (Kaschuk et al., 2012; Amelin et al., 2020). Probably, stronger sink strength in larger inflorescences ensures their better seed productivity, in spite of the fact that upper PFCs almost do not participate in seed production.

But what is (are) the mechanism(s) maintaining the polymorphism in the size of inflorescences in cultivated common buckwheat, i.e., why are the genes determining smaller inflorescences not eliminated from populations? *A priori*, the improvement of commercial cultivars through breeding reduces genetic polymorphism. In our study, however, all the analyzed cultivars manifested very wide variability in the inflorescence size. Most of those cultivars showed almost the same range of the variation. An exception was the cultivars with a determinate growth habit (DGH), forming on average the largest inflorescences and having the widest range of variation. The breeding of buckwheat cultivars with a determinate growth habit started in the 1960s (Fesenko, 1983). The first of them, 'Sumchanka', was released in 1985. At present, buckwheat cultivars of this type have the widest factual acreage in Russia (Fesenko A.N., Fesenko I.N., 2019), truly representing a real-time example of the observed inflorescence microevolution. Obviously, the genetic variability of buckwheat was sufficient for such a rapid shift.

So, how to explain the maintenance of the inflorescence size variability? In other words, why have the alleles determining small inflorescences been not lost during the selection for seed productivity? The mechanisms underlying balancing selection are usually considered to be associated with advantages of heterozygosity in individual plants within a population. Such long-term polymorphism in common buckwheat was identified for some biochemical traits. For example, all common buckwheat cultivars maintained polymorphism in the composition of storage proteins in seeds, which was visu-

Table 4. **Seed productivity per inflorescence depending on the inflorescence size within the groups of cultivars representing different morphological types (MT), and the shares of seeds formed within the PFCs from 14th to 24th**

Таблица 4. **Семенная продуктивность соцветия в зависимости от его размеров в группах сортов разных морфологических типов (МТ) и доля семян, образующихся в элементарных соцветиях с 14-го по 24-е**

MT	Year	Number of plants	Inflorescence size (number of PFCs)	Number of seeds, (mean ± SE)	(*t*-test)		Seeds in the PFCs ≥ 13th, %
					t	*P**	
IGH landraces	2017	17	10–12	2.12 ± 0.44			
		13	13–16	3.54 ± 0.55	2.02	0.05	0
	2018	15	10–12	1.13 ± 0.31			
		13	13–19	2.92 ± 0.86	1.96	0.05	3.2
	2019	11	10–12	7.00 ± 1.23			
		6	13–16	8.17 ± 2.69	0.40		0
IGH improved cultivars	2017	37	10–12	2.76 ± 0.34			
		31	13–18	3.35 ± 0.37	1.17		0
	2018	29	10–12	3.34 ± 0.54			
		13	13–18	3.62 ± 0.65	0.33		1.1
	2019	35	10–12	7.83 ± 0.54			
		26	13–20	9.31 ± 1.04	1.26		0.7
KS	2017	116	10–12	3.97 ± 0.21			
		58	13–18	4.57 ± 0.32	1.57		0
	2018	86	10–12	2.65 ± 0.25			
		36	13–18	3.44 ± 0.50	1.41		0.4
	2019	95	10–12	7.87 ± 0.48			
		44	13–18	10.27 ± 0.94	2.27	0.05	1.4
LSB	2017	20	10–12	4.20 ± 0.61			
		30	13–19	3.77 ± 0.48	0.55		0
	2018	16	10–12	3.19 ± 0.47			
		22	13–18	3.09 ± 0.50	0.15		0
	2019	23	10–12	9.13 ± 1.08			
		11	13–16	10.18 ± 0.98	0.72		0.6
DGH	2017	31	10–12	4.90 ± 0.51			
		79	13–23	6.03 ± 0.42	1.71	0.10	1.9
	2018	46	10–12	3.33 ± 0.42			
		88	13–24	5.19 ± 0.45	3.02	0.01	4.1
	2019	77	10–12	7.68 ± 0.46			
		123	13–24	9.25 ± 0.49	2.34	0.02	2.3

Note: * – *P*-values are given for statistically significant differences

Примечание: * – значения *P* указаны для вариантов, где различия достоверны

alized using SDS PAGE (Lazareva et al., 2007). The adaptive significance of this polymorphism is not yet clear. It should be noted that electrophoretic patterns of seed storage proteins are sometimes quite conservative at the species level. For example, the self-pollinator *F. tataricum* is polymorphic in only one position in the pattern of seed proteins (Lazareva, Fesenko, 2007); the isozyme polymorphism in this species is also significantly narrower than that of *F. esculentum* (Ohnishi, 1998). Presumably, all the polymorphisms, including that in the inflorescence size, can also be parts of the system providing heterosis, although there are no direct evidences to support this hypothesis.

Despite the tendency that larger inflorescences produce more seeds, the relationship between the size of inflorescences and seed productivity in buckwheat cultivars is ambiguous. How can the changing inflorescence size (in any direction) influence the seed productivity of buckwheat cultivars? This question has no unambiguous answer. Improved cultivars of new morphological types can develop, on average, both larger (determinant) and smaller (KS-type) inflorescences compared to the traditional type. All the cultivars were competitive in the variety trials. Apparently, the practical effectiveness of changing the average size of inflorescences in a population using artificial selection depends on the physiological characteristics of particular materials.

Conclusion

This article presents the data illustrating that all common buckwheat cultivars manifested polymorphism in the inflorescence size, assessed as a number of partial floret clusters, i.e., elementary units forming an inflorescence in buckwheat. The cultivars were not selected for this trait. We described it and tried to understand why the polymorphism is maintained. Larger inflorescences tended to produce a higher number of seeds; however, those "additional" seeds were developed mainly within the first 12 floret clusters, counting from the base. In "additional" floret clusters of larger inflorescences, seed development was observed only sporadically. Thus, the genes determining larger inflorescences should be accumulated in populations as a result of the increased seed productivity in larger inflorescences. However, the genes determining smaller inflorescences are also present in all the analyzed populations. We discuss possible mechanisms of the balancing selection maintaining this polymorphism. Perhaps, it is important for maintaining heterosis at the population level. Otherwise, the genes that determine smaller inflorescences would have been eliminated and not maintained in all the studied buckwheat cultivars of various origin.

References / Литература

Amelin A.V., Fesenko A.N., Chekalin E.I., Fesenko I.N., Zaikin V.V. Higher yielding varieties of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) with determinate growth habit (single mutation *det*) manifest higher photosynthesis rate at stage of grain filling. *Acta Agriculturae Slovenica*. 2020;115(1):59-65. DOI: 10.14720/aas.2020.115.1.1316

Dart S.R., Samis K.E., Austen E., Eckert C.G. Broad geographic covariation between floral traits and the mating system in *Camissoniopsis cheiranthifolia* (Onagraceae): multiple stable mixed mating systems across the species' range? *Annals of Botany*. 2012;109(3):599-611. DOI: 10.1093/aob/mcr266

Delph L.F., Kelly J.K. On the importance of balancing selection in plants. *New Phytologist*. 2014;201(1):45-56. DOI: 10.1111/nph.12441

Dyer G.A., López-Feldman A., Yúnez-Naude A., Taylor J.E. Genetic erosion in maize's center of origin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2014;111(39):14094-14099. DOI: 10.1073/pnas.1407033111

Fesenko A.N., Fesenko I.N. Buckwheat breeding and production in Russia during the past 100 years. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(1):113-117. [in Russian] (Фесенко А.Н., Фесенко И.Н. Развитие селекции и производства гречихи в России за 100 лет. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(1):113-117). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-113-117

Fesenko A.N., Fesenko N.N., Romanova O.I., Fesenko I.N. Chapter twenty three – Main morphological types of cultivated buckwheat populations in Russia. In: M. Zhou, I. Kreft, G. Suvorova, Y. Tang, S.H. Woo (eds). *Buckwheat Germplasm in the World*. Cambridge, MA: Academic Press; 2018. p.235-248. DOI: 10.1016/B978-0-12-811006-5.00023-9

Fesenko A.N., Fesenko N.N., Romanova O.I., Fesenko I.N. Crop evolution of buckwheat in Eastern Europe: microevolutionary trends in the secondary center of buckwheat genetic diversity. In: M. Zhou, I. Kreft, S.H. Woo, N. Chrungoo, G. Wieslander (eds). *Molecular Breeding and Nutritional Aspects of Buckwheat*. Amsterdam: Elsevier; 2016. p.25-16. DOI:10.1016/B978-0-12-803692-1.00008-0

Fesenko I.N., Fesenko A.N. Genetic basis of interspecific diversity of floral display size between cultivated outcrosser *Fagopyrum esculentum* Moench and wild selfer *F. homotropicum* Ohnishi. *Fagopyrum*. 2011;28:17-21.

Fesenko N.N., Fesenko I.N. Inheritance analysis of the *S4/SHT* fragment of linkage group #4 supports allopolyploid origin and reveals genome composition of a tetraploid (2n=32) lineage of *Fagopyrum homotropicum* Ohnishi. *Plant Systematics and Evolution*. 2015;301(8):2141-2146. DOI: 10.1007/s00606-015-1217-y

Fesenko N.V. Breeding and seed production of buckwheat (Selektsiya i semenovodstvo grechikhi). Moscow: Kolos; 1983. [in Russian] (Фесенко Н.В. Селекция и семеноводство гречихи. Москва: Колос; 1983).

Fu Y.B. Understanding crop genetic diversity under modern plant breeding. *Theoretical and Applied Genetics*. 2015;128(11):2131-2142. DOI: 10.1007/s00122-015-2585-y

Gulisija D., Kim Y. Emergence of long-term balanced polymorphism under cyclic selection of spatially variable magnitude. *Evolution*. 2015;69(4):979-992. DOI: 10.1111/evo.12630

Howard A.F., Barrows E.M. Self-pollination rate and floral-display size in *Asclepias syriaca* (common milkweed) with regard to floral-visitor taxa. *BMC Evolutionary Biology*. 2014;14:144. DOI: 10.1186/1471-2148-14-144

Kaschuk G., Yin X., Hungria M., Leffelaar P.A., Giller K.E., Kuyper T.W. Photosynthetic adaptation of soybean due to varying effectiveness of N_2 fixation by two distinct *Bradyrhizobium japonicum* strains. *Environmental and Experimental Botany*. 2012;76:1-6. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2011.10.002

Krizek B.A., Anderson J.T. Control of flower size. *Journal of Experimental Botany.* 2013;64(6):1427-1437. DOI: 10.1093/jxb/ert025

Lazareva T.N., Fesenko I.N. Seed protein variability of *Fagopyrum tataricum* Gaertn. is limited by two types of electrophoresis spectrum, which differ by the presence/absence of one band. *Fagopyrum*. 2007;24:9-13.

Lazareva T.N., Pavlovskaya N.Y., Fesenko I.N., Fesenko A.N. Polymorphism of regionally released common buckwheat varieties revealed by electrophoresis of seed proteins. *Russian Agricultural Sciences*. 2007;33(6):364-366. DOI: 10.3103/S1068367407060043

Ohnishi O. Search for the wild ancestor of common buckwheat III. The wild ancestor of cultivated common buckwheat, and of tartary buckwheat. *Economic Botany*. 1998;52(2):123-133. DOI: 10.1007/BF02861199

Oliveira M.L.F., Pereira T.N.S., Barbosa R.M., Viana A.P. Analysis of the reproduction mode in *Psidium* spp. using the pollen: ovule ratio. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 2021;43(1):e44062. DOI: 10.4025/actasciagron.v43i1.44062

Solbrig O.T. A cost-benefit analysis of recombination in plants. In: O.T. Solbrig, S. Jain, G.B. Johnson, P.H. Raven (eds). *Topics in Plant Population Biology*. New York, NY: Columbia University Press; 1979. p.114-130.

White J. The plant as a metapopulation. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 1979;10:109-145. DOI: 10.1146/annurev.es.10.110179.000545

Information about the authors

Aleksey N. Fesenko, Dr. Sci. (Biology), Head of a Laboratory, Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops, 10, bldg. 1, Molodezhnaya St., Streletsky Settlem., Orel 302502, Russia, fesenko.a.n@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-7658-3471

Ivan N. Fesenko, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops, 10, bldg. 1, Molodezhnaya St., Streletsky Settlem., Orel 302502, Russia, ivanfesenko@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-3612-422x

Oksana V. Biryukova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops, 10, bldg. 1, Molodezhnaya St., Streletsky Settlem., Orel 302502, Russia, oksanabi2014@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5319-2374

Информация об авторах

Алексей Николаевич Фесенко, доктор биологических наук, заведующий лабораторией, Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур, 302502 Россия, Орел, пос. Стрелецкий, ул. Молодежная, 10, корп. 1, fesenko.a.n@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-7658-3471

Иван Николаевич Фесенко, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур, 302502 Россия, Орел, пос. Стрелецкий, ул. Молодежная, 10, корп. 1, ivanfesenko@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-3612-422x

Оксана Викторовна Бирюкова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур, 302502 Россия, Орел, пос. Стрелецкий, ул. Молодежная, 10, корп. 1, oksanabi2014@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5319-2374

Contribution of the authors: Fesenko A.N., Fesenko I.N. – planning the experiments; processing the results; writing the article. Fesenko A.N., Fesenko I.N., Biryukova O.V. – conducting the experiments.
Вклад авторов: Фесенко А.Н., Фесенко И.Н. – планирование экспериментов; обработка результатов; написание статьи. Фесенко А.Н., Фесенко И.Н., Бирюкова О.В. – проведение экспериментов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.
Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The article was submitted on 03.05.2024; approved after reviewing on 17.07.2024; accepted for publication on 04.09.2024.
Статья поступила в редакцию 03.05.2024; одобрена после рецензирования 17.07.2024; принята к публикации 04.09.2024.

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья
УДК 633.111
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-157-165

CC BY

Зависимость урожайности линий поздних поколений от продуктивности колоса исходных гибридных популяций яровой мягкой пшеницы

С. Б. Лепехов

Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия

Автор, ответственный за переписку: Сергей Борисович Лепехов, sergei.lepehov@yandex.ru

Актуальность. Обоснование возможности браковки гибридных популяций на основе оценки их урожайности или массы зерна колоса как признака, тесно коррелирующего с урожайностью, может повысить эффективность селекционной работы с яровой мягкой пшеницей.
Материалы и методы. Шестнадцать гибридных популяций F_2–F_4 яровой мягкой пшеницы были оценены по массе зерна колоса, среднему значению у 10% растений с максимальной массой зерна колоса, коэффициенту вариации массы зерна колоса, а также урожайности. При помощи метода педигри в каждой гибридной популяции были отобраны 2–3 линии F_7. Полученные линии испытывались по урожайности в F_8 и F_9. При обработке результатов ретроспективно учитывали данные по массе зерна главного колоса родительских сортов, от скрещивания которых были получены рассматриваемые гибридные популяции.
Результаты. Гибридные популяции стабильно дифференцировались по среднему значению массы зерна колоса и его коэффициенту вариации в различные годы исследования. Ни одна из 36 линий поздних поколений достоверно не превзошла стандартный сорт по урожайности. Все рассматриваемые показатели гибридных популяций не были достоверно связаны с урожайностью линий поздних поколений. Среднее значение массы зерна главного колоса родительских сортов, лучшего родителя, а также разность средних значений родителей по массе зерна главного колоса имели тенденцию к отрицательной взаимосвязи с урожайностью линий поздних поколений (r до –0,58).
Заключение. Браковка гибридных популяций исключительно по урожайности или массе зерна колоса сопряжена с риском утраты высокоурожайных генотипов. Высокоурожайные линии поздних поколений формируются в комбинациях, в которых у одного родителя или в среднем по родителям масса зерна главного колоса не выражена в наибольшей степени или оба родителя слабо отличаются друг от друга по данному признаку.

Ключевые слова: масса зерна колоса, изменчивость, косвенный отбор, подбор пар для скрещивания

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий № 0534-2021-0003 «Использование молекулярно-генетических и биотехнологических методов исследований в селекции растений».
Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Лепехов С.Б. Зависимость урожайности линий поздних поколений от продуктивности колоса исходных гибридных популяций яровой мягкой пшеницы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):157-165. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-157-165

© Лепехов С.Б., 2024

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-157-165

Dependence of the yield in late-generation lines on the spike productivity in original segregating populations of spring bread wheat

Sergey B. Lepekhov

Federal Altai Scientific Centre of Agro-Biotechnologies, Barnaul, Russia

Corresponding author: Sergey B. Lepekhov, sergei.lepehov@yandex.ru

Background. An ascertained possibility of culling segregating populations on the basis on their yield or grain weight per spike as a character closely correlated with yield can increase the efficiency of breeding practice with spring bread wheat.
Materials and methods. Sixteen F_2–F_4 segregating populations of spring bread wheat were assessed for their grain weight per spike, average grain weight per spike among the top 10%, coefficient of variation for grain weight per spike, and yield. The pedigree method was applied to select 2 to 3 F_7 lines from each population. The obtained lines were tested for their yield in F_8 and F_9. The data of grain weight per main spike in the parents that had been crossed to produce the studied segregating populations were retrospectively taken into account while the results were processed.
Results Segregating populations persistently differed in their average grain weight per spike and the coefficient of its variation in different years of research. None of the 36 late-generation lines significantly surpassed the reference cultivar in yield. All the considered indicators of segregating populations had no significant correlations with the yield of late-generation lines. Average values of grain weight per main spike in the parent genotypes and the best parent as well as the differences between the parents in the average grain weight per main spike tended to have a negative correlation with the yield of late-generation lines (r up to –0.58).
Conclusion. The culling of segregating populations based solely on the yield or grain weight per spike is associated with a risk of losing high-yielding genotypes. Late-generation lines with high yields occur in combinations where the grain weight per main spike in one parent or on average among the parents is not expressed to its highest level or when both parents differ only slightly from each other in the expression of this character.

Keywords: grain weight per spike, variability, indirect selection, selection of pairs for crossing

Acknowledgements: this work was implemented within the framework of the state task delegated to the Federal Altai Scientific Centre of Agro-Biotechnologies: No. 0534-2021-0003 “The use of molecular genetics and biotechnological research methods in plant breeding”.
The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Lepekhov S.B. Dependence of the yield in late-generation lines on the spike productivity in original segregating populations of spring bread wheat. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):157-165. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-157-165

Введение

Селекция яровой мягкой пшеницы на урожайность осложнена ненадежностью оценки селекционного материала ранних поколений по данному признаку из-за дефицита семян, малого размера делянки, генетической неоднородности (Kramer et al., 1982). В связи с этим исследователи используют косвенные критерии оценки и отбора. В качестве таких критериев предлагались физиологические критерии (Fischer, Rebetzke, 2018), отдельные элементы структуры урожая (Saadalla, 1994), их сочетания или индексы (Fellahi et al., 2018, Mahdy et al., 2022). Однако ведущим признаком отбора из гибридных популяций в российской селекции мягкой пшеницы по ряду причин была и остается масса зерна колоса (Boiko et al., 2019). Данный признак тесно сопряжен с урожайностью (Demina, 2021) и легко измеряется, поэтому он выбран в качестве селекционного критерия (Parlevliet, Van Ommeren, 1988).

В ряде исследований сообщается о низкой доле генотипа (от 3,1 до 13,0%) в общей фенотипической изменчивости массы зерна главного колоса (Nikitina, 2006; Bome et al., 2015; Boiko et al., 2019). Как следствие, реализованная наследуемость и эффективность индивидуального отбора по массе зерна колоса низки (Volkova, 2014). В широком статистическом смысле потенциальная ценность комбинации – это функция среднего и изменчивости в гибридной популяции (Smith et al., 2018). Поскольку оценка отдельных растений в гибридной популяции по массе зерна колоса для последующего отбора малоинформативна, возможно ли использовать этот признак для характеристики гибридных популяций с целью прогноза их перспектив в дальнейшей селекции?

N. W. Simmonds (1996) предположил, что по результатам оценки урожайности гибридных популяций ранних поколений можно забраковать значительную их часть. Это утверждение кажется интуитивно верным, поскольку представляется, что различия между растениями в пределах гибридной популяции меньше, чем различия между популяциями. Этот факт действительно зафиксирован для линий F_4, полученных при отборе из гибридных популяций F_2 у ячменя (Lu et al., 2001). В реальном селекционном процессе продемонстрировано, что гибридные популяции ячменя с самой низкой продуктивностью колоса, массой 1000 зерен за трехлетний период могут быть забракованы без существенного риска утраты ценных генотипов (Mihkelman et al., 2018).

Цель исследования: оценить возможность прогнозирования урожайности линий яровой мягкой пшеницы поздних поколений на основе оценки массы зерна колоса и ее изменчивости в гибридных популяциях.

Материалы и методы

Исследование проведено на одном и том же опытном поле Алтайского научно-исследовательского института сельского хозяйства – отдела Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий в 2016–2023 гг. Шестнадцать гибридных популяций яровой мягкой пшеницы от скрещивания сортообразцов преимущественно степного экологического типа Сибири и Казахстана – 'Алтайская 105' (Алт105), 'Алтайская Жница' (Алт жн), 'Дуэт', 'Карабалыкская 98' (Кар98), 'Лютесценс 453/2' (Л453), 'Лютесценс 827/01-42' (Л827), 'Лютесценс 899' (Л899), 'Саратовская 70' (Сар70), 'Саратовская 71' (Сар71), 'Саратовская 72' (Сар72), 'Тобольская Степная' (Тоб ст), 'Тулевская' (Тул), 'Целинная 3/с' (Цел3/с), 'Эритроспермум 78' (Эр78) – были последовательно посеяны в 2016 (F_2), 2017 (F_3) и 2018 г. (F_4) по паровому предшественнику на делянках площадью 10 м^2 сеялкой ССФК-7. Срок сева – II декада мая, норма высева – 500 зерен/м^2. Опыт заложен в одной повторности.

В фазу полной спелости ежегодно проводили отбор 100 колосьев с одной гибридной популяции. Критерием отбора служила визуальная крупность колоса, высокое количество продуктивных колосков в нем и хорошая озерненность колоска. Каждый колос обмолачивали отдельно и измеряли его массу зерна. Затем для данного признака вычисляли среднее значение, среднее значение у 10% растений с максимальной массой зерна колоса, коэффициент вариации.

В 2016 и 2017 г., помимо массы зерна колоса, определяли урожайность гибридных популяций путем пересчета урожайности делянки с г/м^2 на т/га. После проведения процедуры измерения массы зерна колосьев осуществили их селекционную браковку. Учитывали крупность, выполненность, стекловидность зерна, озерненность колоса, визуальное наличие болезней на зерновках. Дальнейшая селекционная работа с потомствами отобранных колосьев осуществлялась методом педигри (посев потомства каждого отобранного колоса на отдельном рядке с последующим индивидуальным отбором лучших колосьев с лучших рядков). Был проведен 3–5-кратный индивидуальный отбор по комплексу агрономически важных для селекции признаков (визуальный размер колоса, густота продуктивного стеблестоя, отсутствие болезней, группа спелости, высота растений, визуальные характеристики зерна после обмолота).

Размножение и окончательный отбор однородных по фенотипу потомств F_7 провели в 2021 г. В 2022 и 2023 г. 36 линий F_8 и F_9 (2–3 линии с каждой гибридной популяции) были испытаны по урожайности с делянки. Предшественник – пар, срок сева – II декада мая, норма высева – 500 зерен/м^2. Площадь делянки – 0,9 м^2, повторность трехкратная с рандомизацией. Посев осуществлен сеялкой СР-1М, уборка – вручную с последующим обмолотом на пучково-сноповой молотилке. Комбинации сравнивали по урожайности лучшей линии и по средней урожайности ее линий. В качестве стандарта, как в опыте с гибридными популяциями, так и в опыте с линиями поздних поколений, использован сорт 'Алтайская 105'.

Дополнительно в анализ включены ретроспективные данные за 2010–2012 гг. по массе зерна главного колоса родительских сортов, при скрещивании которых были получены рассматриваемые гибридные популяции. Предшественник – пар, норма высева – 500 зерен на 1 м^2, площадь делянки – 2 м^2, в трехкратной повторности, количество растений в выборке – 10 штук. Рассчитывали следующие параметры: среднеродительское значение массы зерна главного колоса, масса зерна главного колоса лучшего родителя, разность значений массы зерна главного колоса родителей. Вышеназванные параметры рассчитывали в среднем за 3 года (2010–2012 гг.).

Статистическая обработка проведена методом дисперсионного анализа в программе Microsoft Excel 2016. Коэффициенты корреляции Спирмена рассчитаны в программе Statistica 12.

В 2010 г. наблюдалась весенняя засуха. В 2011 г. небольшой дефицит осадков затронул весь период времени с мая по август. Для 2012 г. была характерна аномальная засуха, приведшая к значительному падению урожайности. Условия вегетации 2016–2018 гг. в целом мож-

но охарактеризовать как благоприятные для роста и развития растений. Во все три года количество осадков в июле значительно превышало среднемноголетнюю норму, что способствовало развитию листостебельных болезней и полеганию растений. 2019 г. характеризовался дефицитом осадков в период «выход в трубку – колошение», а также высокими температурами в период налива зерна. Дефицит осадков в вегетацию 2020 г. совпал с периодом до колошения. Налив зерна протекал в благоприятных условиях. В 2021 и 2022 г. наблюдался дефицит осадков в мае и августе. В июне – июле сложились благоприятные условия для роста и развития растений. Отличительной особенностью 2023 г. от двух предыдущих лет стало аномально высокое количество осадков в августе, что привело к прорастанию зерна на корню.

Результаты

В рассматриваемом наборе гибридных популяций ежегодно существовали достоверные различия по массе зерна колоса. Ранжирование гибридных популяций по данному признаку было довольно стабильным на протяжении всего периода испытаний. В двух гибридных популяциях (Л453 × Алт жн и Л899 × Сар72) отмечена существенная смена ранга по массе зерна колоса. Пять гибридных популяций (Л827 × Сар71, Л827 × Сар70, Тул × Сар71, Цел3/с × Эр78, Эр78 × Алт105) характеризовались наибольшим значением рассматриваемого показателя, пять других гибридных популяций (Л453 × Л827, Л453 × Тул, Тоб ст × Сар72, Цел3/с × Алт105, Цел3/с × Кар98) – наименьшим как в отдельные годы, так и в среднем за 3 года. Три гибридные популяции (Дуэт × Алт105, Тул × Алт105 и Цел3/с × Л827) занимали среднее положение в ранжированном ряду, хотя в каждый год имели достоверные отличия от некоторых других гибридных популяций (табл. 1). Около половины гибридных популяций достоверно превосходили стандартный сорт ‘Алтайская 105’ по массе зерна колоса ежегодно.

Коэффициент вариации массы зерна колоса гибридных популяций был наибольшим в F_2 и немного снижался в последующих поколениях. Следует обратить внимание на его относительно стабильное проявление для каждой гибридной популяции. Только у 6 из 16 гибридных популяций коэффициент вариации массы зерна ко-

Таблица 1. Величина, изменчивость массы зерна колоса и урожайность гибридных популяций F_2–F_4 яровой мягкой пшеницы (2016–2018 гг., Барнаул)

Table 1. Values and coefficients of variation for grain weight per spike and yield in the F_2–F_4 segregating populations of spring bread wheat (2016–2018, Barnaul)

Комбинация / Combination	Масса зерна колоса, г / Grain weight per spike, g				Коэффициент вариации / Coefficient of variation			Урожайность, т/га / Yield, t/ha		
	2016	2017	2018	Хср	2016	2017	2018	2016	2017	Хср
Л827 × Сар71	1,22	1,15	1,31	1,23	20,8	17,2	19,2	1,84	2,72	2,28
Л827 × Сар70	1,08	1,13	1,37	1,19	20,8	17,4	17,4	2,43	2,40	2,42
Тул × Сар 71	1,10	1,12	1,32	1,18	22,0	17,8	19,4	2,51	2,56	2,54
Цел3/с × Эр78	1,07	1,08	1,33	1,16	23,7	17,1	18,5	2,28	2,55	2,42
Эр78 × Алт105	1,13	1,07	1,25	1,15	30,4	20,1	20,5	2,83	2,39	2,61
Дуэт × Алт105	1,05	1,12	1,27	1,15	23,1	17,6	23,7	2,94	2,15	2,55
Л453 × Алт жн	1,15	0,90	1,19	1,08	19,9	15,7	18,8	2,41	2,07	2,24
Л453 × Эр78	1,07	1,00	1,14	1,07	24,0	17,0	18,0	2,40	2,35	2,38
Тул × Алт105	0,99	0,98	1,14	1,04	26,3	23,8	22,9	2,81	2,04	2,43
Л899 × Сар72	0,89	0,93	1,25	1,03	23,6	18,2	16,7	2,47	1,59	2,03
Цел3/с × Л827	0,90	0,96	1,12	1,00	25,7	19,7	23,0	2,36	1,92	2,14
Л453 × Л827	0,90	0,80	1,16	0,95	26,9	21,7	21,2	2,38	2,02	2,20
Л453 × Тул	0,87	0,81	1,08	0,92	30,0	18,2	21,9	2,45	1,94	2,20
Тоб ст × Сар72	0,90	0,74	1,07	0,90	23,5	20,7	21,4	2,69	1,84	2,27
Цел3/с × Алт105	0,89	0,78	1,01	0,89	30,4	19,2	26,7	2,20	1,60	1,90
Цел3/с × Кар98	0,75	0,65	1,08	0,83	33,9	22,2	24,6	1,62	1,22	1,42
‘Алтайская 105’ ‘Altaiskaya 105’	1,00	0,65	1,05	0,90	26,9	21,6	21,2	2,70	1,55	2,13
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,07	0,05	0,07	0,12	–	–	–	–	–	$F<F_т$

Примечание: Хср – среднее значение; $F < F_т$ – фактическое значение F-критерия меньше табличного значения F-критерия

Note: Xcp – mean value; $F < F_т$ – the experimental value of Fischer’s criterion is less than the tabulated value of Fischer’s criterion

лоса был выше, чем у 'Алтайской 105'. Однако эти различия не были статистически значимы. Величина массы зерна колоса и ее изменчивость были отрицательно взаимосвязаны (r от –0,55 до –0,67).

По урожайности в среднем за два года лидировали гибридные популяции Эр78 × Алт105 (2,61 т/га) и Дуэт × Алт105 (2,55 т/га). Наименьшую урожайность сформировали популяции Цел3/с × Алт105 (1,90 т/га) и Цел3/с × Кар98 (1,42 т/га).

В 2022 г. урожайность с делянки у линий поздних поколений (F_8 и F_9) варьировала от 315 до 475 г/м^2 при уровне урожайности у стандарта 421 г/м^2. В 2023 г. данные показатели составили 282, 426 и 383 г/м^2 соответственно. Ни одна полученная линия достоверно не превзошла стандарт 'Алтайская 105' по урожайности (402 г/м^2) в оба года испытания, хотя некоторые линии в среднем за два года обладали урожайностью на уровне стандарта. К таковым следует отнести линии, полученные из комбинаций Л827 × Сар71 (404 г/м^2), Дуэт × Алт105 (404 г/м^2), Л827 × Сар70 (405 г/м^2), Л453 × Эр78 (409 г/м^2), Цел3/с × Кар98 (414 г/м^2), Л453 × Тул (421 г/м^2). Однако в отдельные годы лучшие линии одних комбинаций достоверно отличались от лучших линий других комбинаций (табл. 2). Некоторые комбинации достоверно различались по средней урожайности полученных из них линий. Отмечено существенное генотип-средовое взаимодействие для урожайности испытываемых линий, о чем свидетельствует низкий коэффициент корреляции между годами (r = 0,20 для урожайности лучших линий и r = 0,11 для средней урожайности линий). Стабильно низкой урожайностью характеризовались линии, полученные из комбинации Л453 × Алт жн (334 г/м^2 в среднем за 2 года).

В опыте не было выявлено ни одного статистически значимого коэффициента корреляции между параметрами гибридных популяций и урожайностью выделенных из них линий (табл. 3). Значительное количество коэффициентов корреляции было слабым и нестабильным, то есть в разные годы отличалось разным знаком. Ни средняя масса зерна колоса в гибридной популяции, ни таковое значение у 10% растений с наибольшими значениями не были сильно или стабильно связаны с урожайностью лучшей линии или средней урожайностью линий. Отмечена положительная слабая, но стабильная

Таблица 2. Урожайность линий F_8 и F_9 яровой мягкой пшеницы (2022–2023 гг., Барнаул)
Table 2. Yield of the F_8 and F_9 lines of spring bread wheat (2016–2018, Barnaul)

Происхождение линий / Pedigrees of the lines	Урожайность лучшей линии, г/м^2 / Yield of the best line per combination, g/m^2			Средняя урожайность линий, г/м^2 / Average yield of the lines per combination, g/m^2		
	2022	2023	Среднее / Mean	2022	2023	Среднее / Mean
Л827 × Сар71	408	401	404	405	371	388
Л827 × Сар70	475	381	405	452	332	392
Тул × Сар 71	374	384	379	351	344	347
Цел3/с × Эр78	401	378	376	387	336	362
Эр78 × Алт105	442	337	390	411	331	371
Дуэт × Алт105	431	379	404	377	378	378
Л453 × Алт жн	366	303	334	366	303	334
Л453 × Эр78	423	409	409	394	389	391
Тул × Алт105	419	358	388	373	322	348
Л899 × Сар72	341	383	358	337	367	352
Цел3/с × Л827	424	397	396	375	387	381
Л453 × Л827	401	364	383	389	341	365
Л453 × Тул	415	426	421	403	410	407
Тоб ст × Сар72	405	342	372	396	341	368
Цел3/с × Алт105	394	316	344	377	305	341
Цел3/с × Кар98	449	379	414	426	346	386
'Алтайская 105' / 'Altaiskaya 105'	421	383	402	–	–	–
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	68	74	$F < F_т$	47	42	$F < F_т$

Примечание: $F < F_т$ – фактическое значение F-критерия меньше табличного значения F-критерия
Note: $F < F_т$ – the experimental value of Fischer's criterion is less than the tabulated value of Fischer's criterion

Таблица 3. **Коэффициенты корреляции между различными параметрами гибридных популяций, родительских сортов и урожайностью линий поздних поколений яровой мягкой пшеницы**

Table 3. **Correlations between various parameters in segregating populations or their parents, and the yield of late-generation lines of spring bread wheat**

Параметр / Parameter	Урожайность лучшей линии в комбинации / Yield of the best line per combination			Средняя урожайность линий в комбинации / Average yield of the lines per combination		
	2022	2023	Среднее / Mean	2022	2023	Среднее / Mean
Средняя масса зерна колоса в гибридной популяции / Average grain weight per spike in a segregating population						
2016	–0,00	–0,06	–0,12	0,01	–0,25	–0,09
2017	0,22	0,35	0,23	0,04	0,11	0,22
2018	–0,02	0,20	0,00	–0,04	–0,04	0,03
среднее / mean	0,06	0,21	0,06	0,00	–0,05	0,07
Среднее значение у 10% растений с максимальной массой зерна колоса в гибридной популяции / Average grain weight per spike among the top 10% of plants in a segregating population						
2016	0,02	–0,23	–0,11	0,13	–0,40	–0,13
2017	0,24	0,27	0,18	0,01	0,05	0,16
2018	0,10	0,01	0,04	–0,04	–0,12	–0,08
среднее / mean	0,16	0,05	0,06	–0,00	–0,12	0,00
Коэффициент вариации массы зерна колоса в гибридной популяции / Coefficient of variation for the grain weight per spike in a segregating population						
2016	0,24	–0,11	0,22	0,23	0,04	0,08
2017	0,23	–0,26	0,05	0,11	–0,11	–0,06
2018	0,26	–0,23	0,14	0,04	0,02	–0,05
Урожайность гибридной популяции / Yield of a segregating population						
2016	0,07	–0,16	–0,09	–0,23	–0,07	–0,13
2017	0,08	0,20	0,13	0,13	–0,05	0,11
среднее / mean	0,25	–0,07	0,08	0,04	–0,15	–0,00
Масса зерна главного колоса родительских сортов / Grain weight per main spike in the parent genotypes						
средняя по родителям / average among the parents	0,06	**–0,58**	–0,31	–0,07	–0,33	–0,25
лучшего родителя / the best parent	–0,10	**–0,58**	–0,45	–0,23	–0,38	–0,41
разность значений родителей / differences between the parents	–0,33	–0,47	–0,48	–0,31	–0,39	**–0,54**

Примечание: критическое значение коэффициента корреляции r = 0,50

Note: the critical value of the correlation coefficient r = 0.50

взаимосвязь между размахом изменчивости в гибридных популяциях с 2016 по 2018 г. и урожайностью лучших линий в 2022 г. (r от 0,23 до 0,26). Взаимосвязь этих же показателей в 2023 г. снизилась или поменяла знак на противоположный (r от –0,11 до –0,26). Значения урожайности гибридных популяций не обнаружили статистически значимых корреляционных связей с урожайностью линий, полученных на основе этих гибридных популяций (r < 0,30).

Более высокие коэффициенты корреляции отмечены между параметрами массы зерна главного колоса родительских сортов и урожайностью линий поздних поколений (F_8 и F_9), полученных от их скрещивания. Средняя по родителям масса зерна главного колоса, масса зерна главного колоса лучшего родителя, разность значений массы зерна главного колоса родителей практически во всех случаях отрицательно коррелировали с урожайностью линий поздних поколений. Урожайность лучшей

линии, полученной из комбинации, в 2023 г. характеризовалась достоверной отрицательной корреляцией с массой зерна главного колоса лучшего родителя и средним значением обеих родительских форм. Аналогичная связь отмечена между среднегодовой урожайностью линий в комбинации и разностью значений ее родительских форм по массе зерна главного колоса.

Обсуждение результатов

Поиск косвенных критериев оценки урожайности в ранних поколениях гибридных популяций ведется в основном для разреженного посева (Fischer, Rebetzke, 2018). Однако в России гибридные популяции в реальном селекционном процессе по ряду организационных причин высевают с нормой, близкой к производственной. В таких условиях различная конкурентная способность растений «смазывает» их оценку по массе зерна колоса (Nass, 1983). Вероятно, невозможность в условиях эксперимента полной реализации генетического потенциала растений F_2–F_4 привела к тому, что у гибридных популяций значение коэффициента вариации признака масса зерна с колоса было на уровне стандартного сорта.

При производственной норме посева гибридные популяции достаточно стабильны как по вариации, так и по массе зерна с колоса в разные годы исследования, однако эти параметры никак не связаны с урожайностью линий поздних поколений. Существенное превосходство над стандартом по средней продуктивности колоса в гибридной популяции не гарантирует последующего выщепления из нее высокоурожайных линий. Вероятно, это происходит из-за компенсации одних элементов структуры урожайности другими. Так, масса зерна колоса гибридных популяций была тесно сопряжена с их урожайностью в 2017 г. (r = 0,87), но слабо – в 2016 г. (r = 0,17). Детальный анализ выявил отрицательную параболическую зависимость между продуктивностью колоса в гибридной популяции и ее урожайностью в 2016 г. Данный факт, вероятно, связан с различиями в густоте продуктивного стеблестоя. Именно по этой причине взамен однокомпонентного отбора современные исследователи рассматривают индексный отбор, базирующийся на нескольких критериях (Fellahi et al., 2018).

Идея оценки гибридных популяций по урожайности при производственной норме высева для того, чтобы забраковать неперспективный материал, кажется привлекательной. Однако данную точку зрения критикуют R. A. Fischer и G. J. Rebetzke (2018), так как имеются сомнения в том, что высокоурожайные гибридные популяции, которые по сути являются смесью конкурирующих сублиний, дадут линии с бóльшей урожайностью, чем низкоурожайные гибридные популяции, даже если не принимать во внимание неточность измерения урожайности на делянках малого размера. Результат проведенного эксперимента согласуется с данной точкой зрения. Две линии с наибольшей средней за два года урожайностью были отобраны из гибридных популяций с низким значением массы зерна колоса и урожайностью ниже средней. Более того, высокоурожайный стандартный сорт ‘Алтайская 105’ в 2017 г., при испытании гибридных популяций F_3, находился на предпоследнем месте по урожайности и на последнем – по продуктивности колоса.

Следующим важным фактором, влияющим на качество создаваемых линий поздних поколений, выступает этап работы методом педигри, когда осуществляется визуальный отбор. Хотя визуальный отбор эффективен (Nass, 1987) и является неотъемлемой частью практической селекции, но его результативность неодинакова в разных гибридных популяциях (Nass, 1983). В конце концов, представление селекционера об идеальном типе может расходиться с фактической урожайностью линий (Yuan et al., 2011). Неизбежным является взаимодействие «генотип – среда», вызванное различной нормой высева и погодными условиями в годы работы с F_5–F_7 при рядковом посеве и F_8–F_9 на многорядковых делянках с производственной нормой высева. Однако именно на данном этапе происходило сокращение прорабатываемого материала с 300 отобранных колосьев до 2–3 линий F_8. При этом отбор велся уже не по массе зерна колоса, а по совокупности признаков, важных при создании сорта степного экологического типа для Алтайского края, среди которых высокая урожайность не единственный признак. Не исключено, что в процессе сокращения селекционного материала в 100 и более раз происходит утрата ценных высокоурожайных генотипов. Однако этот важный вопрос практически не обсуждается в современных работах российских селекционеров.

Предполагается, что эффективность селекции может быть увеличена через прогнозирование перспективных комбинаций по результатам анализа родительских форм. Одним из таких параметров, по крайней мере для прогноза в гибридной популяции, может выступать среднее значение признака по родителям (Utz et al., 2001). В нашем исследовании корреляция между средним по родителям значением массы зерна с колоса и урожайностью линий поздних поколений была несущественной.

Необычной является обнаруженная в исследовании отрицательная корреляция между массой зерна главного колоса лучшего родителя и урожайностью линий поздних поколений, полученных от таких комбинаций. Подразумевается, что включение в скрещивания сортов с высокопродуктивным колосом приведет к росту урожайности из-за корреляции данных признаков (Boiko et al., 2019). В некоторой степени объяснить этот факт может то, что в комбинациях со слишком большими различиями между родителями по массе зерна колоса обнаружена тенденция к снижению урожайности полученных линий. Данные результаты укладываются в общеизвестные представления о природе трансгрессий. Гены с положительными эффектами для улучшения количественного признака должны быть распределены между двумя родителями, а не сосредоточенны у одного из родителей (Cazzola et al., 2020). В последнем случае родительские фенотипы будут сильно отличаться. Родители с очень близким фенотипом при скрещивании дают потомство с широкой трансгрессивной изменчивостью, если их фенотипы определяются разными генами (Koide et al., 2019; Basanagouda et al., 2024).

Заключение

Урожайность лучших линий поздних поколений и средняя урожайность линий поздних поколений, полученных на основе различных комбинаций, были незначительно сопряжены с такими признаками, как средняя масса зерна колоса в гибридных популяциях (r от –0,25 до 0,35), среднее значение 10% растений с максимальной массой зерна колоса в гибридных популяциях (r от 0,27 до –0,40), коэффициентом вариации массы зерна колоса в гибридных популяциях (r от –0,26 до 0,26), урожайностью гибридных популяций (r от –0,23 до 0,25). Корреляционный анализ выявил слабую и среднюю

связь между урожайностью лучших линий поздних поколений, средней урожайностью линий поздних поколений различных комбинаций и средней по родителям массой зерна главного колоса (r от 0,06 до –0,58), массой зерна главного колоса лучшего родителя (r от –0,10 до –0,58), разностью значений массы зерна главного колоса родителей (r от –0,31 до –0,54). Браковка гибридных популяций исключительно по урожайности или массе зерна колоса сопряжена с риском утраты высокоурожайных генотипов.

References / Литература

Basanagouda G., Ramesh S., Chandana B.R., Sathish H., Siddu C.B., Kalpana M.P. et al. Predicting the frequency of transgressive RILs and minimum population size required to recover them in dolichos bean [*Lablab purpureus* (L.) Sweet]. *Legume Research*. 2024;47(5):751-755. DOI: 10.18805/LR-5035

Boiko N.I., Parkina O.V., Piskarev V.V. Formation of grain weight per ear in varieties of common spring wheat (*Triticum aestivum* L.) under contrasting weather conditions of the forest-steppe area of the Cis-Ob' region. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2019;33(12):43-47. [in Russian] (Бойко Н.И., Паркина О.В., Пискарев В.В. Формирование массы зерна с колоса у сортообразцов пшеницы мягкой яровой (*Triticum aestivum* L.) в контрастных метеоусловиях лесостепи Приобья. *Достижения науки и техники АПК*. 2019;33(12):43-47). DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11208

Bome N.A., Ripberger E.I., Trautz D. Variability of characteristics of productivity of the spike of the hybrid forms *Triticum aestivum* L. as the way of adaptation in various ecological and geographical conditions. *Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology*. 2015;1(1):98-107. [in Russian] (Боме Н.А., Рипбергер Е.И., Дитер Т. Изменчивость признаков продуктивности колоса гибридных форм *Triticum aestivum* L. как способ адаптации в различных эколого-географических условиях. *Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование*. 2015;1(1):98-107).

Cazzola F., Bermejo C.J., Cointry Peix E.L. Transgressive segregations in two pea F2 populations and their respective F2:3 families. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2020;55:01623. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01623

Demina I.F. Conjugacy of yield and its structural elements in spring soft wheat samples. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(4):477-484. [in Russian] (Дёмина И.Ф. Сопряженность урожайности и элементов ее структуры у образцов яровой мягкой пшеницы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(4):477-484). DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.477-484

Fellahi Z.E.A., Hannachi A., Bouzerzour H. Analysis of direct and indirect selection and indices in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) segregating progeny. *International Journal of Agronomy*. 2018;2018(1):1-11. DOI: 10.1155/2018/8312857

Fischer R.A., Rebetzke G.J. Indirect selection for potential yield in early-generation, spaced plantings of wheat and other small-grain cereals: a review. *Crop and Pasture Science*. 2018;69(5):439-459. DOI: 10.1071/CP17409

Koide Y., Sakaguchi S., Uchiyama T., Ota Y., Tezuka A., Nagano A.J. et al. Genetic properties responsible for the transgressive segregation of days to heading in rice. *G3: Genes, Genomes, Genetics*. 2019;9(5):1655-1662. DOI: 10.1534/g3.119.201011

Kramer Th., Van Ooijen J.W., Spitters C.J.T. Selection for yield in small plots of spring wheat. *Euphytica*. 1982;31(3):549-564. DOI: 10.1007/BF00039193

Lu M.Q., O'Brien L., Stuart I.M. Variation within and between F2-derived families for grain yield and barley malting quality. *Australian Journal of Agricultural Research*. 2001;52(1):85-92. DOI: 10.1071/AR00041

Mahdy R.E., Althagafi Z.M.A., Al-Zahrani R.M., Aloufi H.H.K., Alsalmi R.A., Abeed A.H.A., et al. Comparison of desired-genetic-gain selection indices in late generations as an insight on superior-family formation in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy*. 2022;12(8):1738. DOI: 10.3390/agronomy12081738

Mihkelman V.A., Kadikov R.K., Melnikov A.V. Improved selection methods of spring barley in Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2018;(6):26-47. [in Russian] (Михкельман В.А., Кадиков Р.К., Мельников А.В. Совершенствование методов селекции ярового ячменя в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2018;(6):26-47).

Nass H.G. Effectiveness of several selection methods for grain yield in two F_2 populations of spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science*. 1983;63(1):61-66. DOI: 10.4141/cjps83-006

Nass H.G. Selection for grain yield of spring wheat utilizing seed size and other selection criteria. *Canadian Journal of Plant Science*. 1987;67(3):605-610. DOI: 10.4141/cjps87-086

Nikitina V.I. Variability and inheritance of grain weight per spike in spring bread wheat under the forest-steppe conditions of Eastern Siberia (Izmenchivost i nasledovaniye massy zerna s kolosa u myagkoy yarovoy pshenitsy v usloviyakh lesostepi Vostochnoy Sibiri). *The Bulletin of KrasGAU*. 2006;(11):53-59. [in Russian] (Никитина В.И. Изменчивость и наследование массы зерна с колоса у мягкой яровой пшеницы в условиях лесостепи Восточной Сибири. *Вестник КрасГАУ*. 2006;(11):53-59).

Parlevliet J.E., van Ommeren A. Recurrent selection for grain yield in early generations of two barley populations. *Euphytica*. 1988;38(2):175-184. DOI: 10.1007/BF00040189

Saadalla M.M. Response to early-generation selection for yield and yield components in wheat. *Cereal Research Communications*. 1994;22(3):187-193.

Simmonds N.W. Family selection in plant breeding. *Euphytica*. 1996;90:201-208. DOI: 10.1007/BF00023859

Smith K.P., Thomas W., Gutierrez L., Bull H. Genomics-based barley breeding. In: N. Stein, G. Muehlbauer (eds). *The Barley Genome (Compendium of Plant Genomes)*. 1st ed. Cham: Springer; 2018. p.287-315. DOI: 10.1007/978-3-319-92528-8_16

Utz H.F., Bohn M., Melchinger A.E. Predicting progeny means and variances of winter wheat crosses from phenotypic values of their parents. *Crop Science*. 2001;41(5):1470-1478. DOI: 10.2135/cropsci2001.4151470x

Volkova L.V. Inheritance of grain mass per spike in soft spring wheat intraspecies hybrids. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2014;3(32):13-17. [in Russian] (Волкова Л.В. Наследование массы зерна с колоса у внутривидовых гибридов яровой мягкой пшеницы. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2014;3(32):13-17).

Yuan W., Peng S., Cao C., Virk P., Xing D., Zhang Y. et al. Agronomic performance of rice breeding lines selected based on plant traits or grain yield. *Field Crops Research*. 2011;121(1):168-174. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.12.014

Информация об авторе

Сергей Борисович Лепехов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, 656910 Россия, Барнаул, Научный городок, 35, sergei.lepehov@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1561-6345

Information about the authors

Sergey B Lepekhov, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Altai Scientific Center of Agro-Biotechnologies, 35 Nauchny Gorodok, Barnaul 656910, Russia, sergei.lepehov@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1561-6345

Статья поступила в редакцию 05.03.2024; одобрена после рецензирования 28.05.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 05.03.2024; approved after reviewing on 28.05.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья
УДК 633.15:664.25
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-166-179

CC BY

Оценка содержания крахмала в зерне и реакции на М- и С-типы ЦМС высококрахмалистых гибридов кукурузы

М. Р. Фирсова[1], Б. Р. Шомахов[2], Р. С. Кушхова[2], З. Т. Хаширова[2], Р. А. Кудаев[2], А. Х. Гяургиев[2], С. П. Аппаев[2], А. М. Кагермазов[2], А. В. Хачидогов[2], А. И. Бузуртанов[3], К. Ш. Бадургова[3], М. А. Базгиев[3], В. Г. Гольдштейн[4], В. И. Хорева[1], Э. Б. Хатефов[1]

[1] Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

[2] Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Институт сельского хозяйства, Нальчик, Россия

[3] Ингушский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Сунжа, Россия

[4] Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья, Московская область, Россия

Автор, ответственный за переписку: Эдуард Балилович Хатефов, haed1967@rambler.ru

Актуальность. Рост производства нативного и модифицированного крахмала из кукурузы требует обеспечения сырьем с высоким содержанием крахмала в зерне.
Материалы и методы. Проведены двухлетние испытания 780 экспериментальных простых гибридов высококрахмалистой кукурузы, полученных на стерильных линиях с М- и С-типами ЦМС. Определение крахмала в зерне линий и их гибридов проведено методом ИК-спектрометрии, содержание нативного крахмала в зерне лучших по урожайности гибридов проведено во ВНИИ крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья по методу, предложенному Л. П. Носовской с соавторами, определена реакция на ЦМС по шкале Г. С. Галеева.
Результаты. Установлено варьирование содержания крахмала в зерне от 58% до 72% СВ по всей выборке. По данным ИК-спектрометрии выделены 22 гибрида с высоким (72,03–72,67%) содержанием крахмала и 5 гибридов, перспективных для глубокой переработки зерна, сочетающих высокое содержание белка (10,3–13,53%) и масла (3,77–5,03%) с высоким содержанием крахмала (69,02–70,4%) в зерне. Извлечение нативного крахмала по методу Л. П. Носовской показало, что содержание крахмала у 68 лучших гибридов находится в пределах от 70,03 до 71,95% СВ. Коллекция ранжирована по принадлежности к основным гетерозисным группам: Iowa Dent – 57 линий, Stiff Stalk Synthetic – 26 линий, Lancaster – 28 линий. Выделены 33 и 6 линий закрепителей, 9 и 8 линий восстановителей М- и С-типов ЦМС соответственно. По группам спелости ФАО гибриды распределились на ФАО 200–299 – 14 комбинаций, ФАО 300–399 – 7 комбинаций, ФАО 400–449 – 21 комбинация и ФАО 450–500 – 29 комбинаций.
Выводы. Хозяйственная и селекционная оценка 68 лучших комбинаций линий высококрахмалистой кукурузы со стерильными тестерами показала их перспективность для производства нативного крахмала не ниже 70–72% СВ. Также выделены 5 комбинаций линий для получения нативного крахмала (69,02–70,4% СВ) и побочной продукции в виде белка (10,3–13,5% СВ) и масла (3,77–5,03% СВ) при глубокой переработке зерна.

Ключевые слова: *Zea mays* L., кукурузный крахмал, глубокая переработка зерна, ЦМС, закрепители стерильности, восстановители фертильности пыльцы

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Фирсова М.Р., Шомахов Б.Р., Кушхова Р.С., Хаширова З.Т., Кудаев Р.А., Гяургиев А.Х., Аппаев С.П., Кагермазов А.М., Хачидогов А.В., Бузуртанов А.И., Бадургова К.Ш., Базгиев М.А., Гольдштейн В.Г., Хорева В.И., Хатефов Э.Б. Оценка содержания крахмала в зерне и реакции на М- и С-типы ЦМС высококрахмалистых гибридов кукурузы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):166-179. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-166-179

© Фирсова М.Р., Шомахов Б.Р., Кушхова Р.С., Хаширова З.Т., Кудаев Р.А., Гяургиев А.Х., Аппаев С.П., Кагермазов А.М., Хачидогов А.В., Бузуртанов А.И., Бадургова К.Ш., Базгиев М.А., Гольдштейн В.Г., Хорева В.И., Хатефов Э.Б., 2024

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-166-179

Assessment of grain starch content and responses to CMS-S and CMS-C in high-starch maize hybrids

Milana R. Firsova[1], Beslan R. Shomakhov[2], Rita S. Kushkhova[2], Zinaida T. Khashirova[2], Ruslan A. Kudaev[2], Azamat Kh. Gyaurgiev[2], Safar P. Appaev[2], Alan M. Kagermazov[2], Azamat V. Khachidogov[2], Aslanbek I. Buzurtanov[3], Kulsum Sh. Badurgova[3], Magomed A. Bazgiev[3], Vladimir G. Goldstein[4], Valentina I. Khoreva[1], Eduard B. Khatefov[1]

[1] *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia*

[2] *Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia*

[3] *Ingush Scientific Research Institute of Agriculture, Sunzha, Russia*

[4] *Russian Potato Research Center, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing, Moscow Province, Russia*

Corresponding author: Eduard B. Khatefov, haed1967@rambler.ru

Background. Increasing the production of native and modified starch from maize requires raw materials with high starch content in grain.
Materials and methods. An experimental panel of 780 simple high-starch maize hybrids produced with CMS-S and CMS-C lines underwent two-year testing. Starch content in the grain of the lines and their hybrids was assessed with IR spectrometry. Native starch content in the grain of hybrids with highest yields was measured at the All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing using the method proposed by L. P. Nosovskaya with coauthors. Responses to CMS were scored according to G. S. Galeev's scale.
Results. Grain starch content was found to vary from 58% to 72% DMB throughout the tested panel. IR spectrometry helped to identify 22 hybrids with high (72.03–72.67%) starch content, and 5 hybrids promising for deep grain processing, combining high protein (10.3–13.53%) and oil (3.77–5.03%) levels with high starch content (69.02–70.4%) in their grain. Native starch extraction using L. P. Nosovskaya's method showed that grain starch content in the best 68 hybrids ranged from 70.03 to 71.95% DMB. The collection was ranked according to the main heterotic groups: 57 lines of Iowa Dent, 26 lines of Stiff Stalk Synthetic, and 28 lines of Lancaster. For CMS-S and CMS-C types, 33 and 6 maintainers, and 9 and 8 restorers were selected, respectively. The hybrids were distributed across the following FAO maturity groups for maize: FAO 200–299 (14 hybrids), FAO 300–399 (7), FAO 400–449 (21), and FAO 450–500 (29).
Conclusion. Assessing agronomic and breeding prospects of the best 68 hybrids between high-starch maize lines and sterile testers proved their potential for producing native starch to at least 70–72% DMB. Five hybrids were identified as promising for yielding native starch (69.02–70.4% DMB), as well as protein (10.3–13.5% DMB) and oil (3.77–5.03% DMB) by-products during deep grain processing.

Keywords: *Zea mays* L., maize starch, deep grain processing, CMS, sterility maintainer, fertility restorers

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0009 "Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production".
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Firsova M.R., Shomakhov B.R., Kushkhova R.S., Khashirova Z.T., Kudaev R.A., Gyaurgiev A.Kh., Appaev S.P., Kagermazov A.M., Khachidogov A.V., Buzurtanov A.I., Badurgova K.Sh., Bazgiev M.A., Goldstein V.G., Khoreva V.I., Khatefov E.B. Assessment of grain starch content and responses to CMS-S and CMS-C in high-starch maize hybrids. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):166-179. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-166-179

Введение

Крахмал относится к полимерам, получаемым из растительного сырья. За период 2017–2021 гг. его производство в РФ увеличилось на 44% – с 243 до 349 тыс. т. По данным BusinesStat (2022), показатель темпов ежегодного прироста относительно предыдущих лет составил 4,9–15,7%. Рост производства увеличивался в соответствии со спросом со стороны ключевых потребляющих отраслей промышленности: пищевой, целлюлозно-бумажной, химико-фармацевтической, строительной, нефтегазовой. При производстве крахмала преобладающим является кукурузный. Доля крахмала, полученного из других культур, составляла в среднем 34,2%, доля пшеничного – 13,8%, на картофельный крахмал приходилось всего 3,1%. В крахмальной промышленности наблюдается дефицит сортов и гибридов кукурузы с высоким содержанием крахмала в зерне, а также источников особо ценных форм крахмала (амилопектиновый, высокоамилозный) (BusinesStat…, 2022). Создание линий и гибридов высококрахмалистой кукурузы обеспечит импортозамещение нативного и модифицированного крахмала в РФ.

Кукуруза была первой культурой, на которой успешно применили цитоплазматическую мужскую стерильность (ЦМС) для массового производства коммерчески доступных гибридных семян (Kim, Zhang, 2018), поэтому промышленная селекция и семеноводство гибридов кукурузы невозможны без использования ЦМС на материнских формах. Источники ЦМС, разрешенные к использованию в семеноводстве кукурузы после эпифитотий на цитоплазме Т-типа в 70-х годах XX века и ее запрета к использованию, сосредоточены в основном на М-типе, чуть меньше – на С-типе ЦМС. В отличие от Т-типа, М- и С-типы ЦМС не поражаются возбудителем *Helminthosporium maydis*, Race T и его токсинами (Ullstrup, 1972). ЦМС наследуется через материнскую цитоплазму, характеризуется неспособностью производить функциональную пыльцу при определенном взаимодействии ядерных и цитоплазматических генов. Доминантные ядерные гены, называемые восстановителями фертильности (*Rf*-), могут противодействовать эффекту ЦМС стерильной цитоплазмы, а рецессивные ядерные гены (*rfrf*) не обладают такой устойчивостью и закрепляют стерильность. Для восстановления фертильности М-типа ЦМС достаточно одного доминантного гена *Rf3*, расположенного на хромосоме 2 (Laughnan, Gabay, 1978; Kamps, Chase, 1997; Tie et al., 2006; Zhang et al., 2006). Кроме основного гена-восстановителя, имеется дополнительный локус, участвующий в восстановлении ЦМС М-типа, такой как *Rf9* (Gabay-Laughnan et al., 2009). Стерильность цитоплазмы М-типа нестабильна и очень чувствительна к факторам окружающей среды, что затрудняет ее широкое применение в сельском хозяйстве (Weider et al., 2009). Цитоплазматическая мужская стерильность типа С – один из трех основных типов ЦМС у кукурузы – имеет многообещающие перспективы применения в производстве гибридных семян. Восстановление фертильности контролируется двумя доминантными генами, *Rf4* и *Rf5*, которые расположены на хромосомах 8 и 5 соответственно, способствуя полному восстановлению фертильности ЦМС С-типа (Sisco, 1991; Tang et al., 2001; Jaqueth et al., 2020).

Зерно кукурузы состоит из 61–78% крахмала в пересчете на сухое вещество (СВ), пентозанов (около 10% СВ), белка (6–12% СВ) и липидов (3–6% СВ) (Watson, 2003; Sinha et al., 2011). Зерно кукурузы как сырье очень технологично за счет того, что оно легко сушится, длительно хранится и легко транспортируется. Благодаря этим свойствам кукуруза является почти идеальной зерновой культурой для получения крахмала (Zhang et al., 2021).

Улучшение количества крахмала стало одной из важнейших задач селекции кукурузы на качество зерна. Селекция кукурузы на качество зерна неразрывно связана как с получением высоких урожаев, так и с улучшением его свойств для питания и переработки (Burrell, 2003; Pollak et al., 2005; Pajić et al., 2010; Kaur et al., 2012).

Биотехнологии, наряду с информационными и нанотехнологиями, признаны ключевым направлением укрепления инновационного сектора экономики страны. В процессе глубокой переработки зерна кукурузы при производстве крахмала образуется много побочных продуктов, богатых органическими ингредиентами и питательными веществами, таких как кукурузные отруби, кукурузные зародыши, кукурузный экстракт, кукурузный глютен и т. д. (Abu-Ghannam, Balboa, 2018; Goldstein et al., 2018). Извлечение крахмала из зерна кукурузы при глубокой переработке осуществляется путем замачивания в воде с добавлением сернистой кислоты на 24–48 часов (Zheng et al., 2013; Somavat et al., 2021). Такая технология позволяет получать дополнительную прибыль с каждой тонны продукции. В этой связи селекционеры уделяют большое внимание как содержанию крахмала в зерне, так и побочным продуктам, получаемым при его производстве.

Создание отечественных сортов и гибридов высококрахмалистой кукурузы является одним из перспективных направлений гибридной селекции, способствующей импортозамещению главнейших возобновляемых сырьевых источников.

Целью исследования является создание отечественных гибридов кукурузы с высоким и повышенным содержанием крахмала в зерне как источников нативного крахмала при глубокой переработке зерна кукурузы.

Материалы и методы

Для создания исходного селекционного материала использовали образцы коллекции высококрахмалистой кукурузы ВИР (628 образцов), которые были получены в тест-кроссах между перспективными инбредными линиями (119 образцов) и 16 линиями (тестеры) с С- и М-типами ЦМС, хорошей общей комбинационной способностью, относящимися к трем основным гетерозисным группам кукурузы (Iowa Dent, Lancaster, Stiff Stalk Synthetic) (Hallauer, Russell, 1988). Изученные образцы созданы в результате селекции ООО ССЦ «ОТБОР» и ВИР.

По результатам биохимического анализа зерна и фенотипической оценки в полевых условиях растений исходного селекционного материала в 2019–2020 гг. выделили стержневую коллекцию кукурузы, состоящую из 245 образцов с высоким содержанием крахмала в зерне и из 12 тестеров, адаптированных к агроклиматическим условиям степной зоны Кабардино-Балкарской Республики (КБР). Стержневая коллекция была представлена образцами с содержанием крахмала в зерне не ниже 69%, а также образцами, у которых обнаружилось высокое содержание крахмала в сочетании с высоким содержанием белка и масла в зерне, с оптимальной для Северо-Кавказского федерального округа группой спелости по классификации ФАО (FAO) (от 200 до 500), с устойчивостью к основным болезням кукурузы (пузырчатая головня,

фузариоз початка) на естественном инфекционном фоне, с устойчивостью к полеганию при густоте стояния растений не менее 62 тыс. раст./га в условиях орошения в степной зоне КБР и другими ценными признаками растений.

В 2020 г. проведены скрещивания линий-тестеров с С- и М-типами ЦМС в качестве материнских растений с линиями стержневой коллекции в качестве отцовских растений (♀тестер × ♂линия). Реакцию тест-кроссов на ЦМС оценивали по шкале Г. С. Галеева (Shmaraev, Matveeva, 1985). Все гибриды разделили на четыре условные группы по группе спелости ФАО. Для определения урожайности в группе спелости ФАО 200–299 использовали в качестве стандарта гибрид кукурузы Ирида, для группы спелости 300–399 – гибрид Краснодарский 291 СВ, для группы спелости 400–449 – гибрид Краснодарский 385 МВ, для группы спелости 450–500 – гибрид Краснодарский 507 МВ. В таблице 1 представлено содержание крахмала в зерне самых высокоурожайных гибридных комбинаций, которые в оба года испытаний превысили по урожайности зерна стандарт более чем на одно значение наименьшей существенной разницы ($НСР_{05}$).

Испытания гибридов, полученных от скрещивания со стерильными тестерами, проводили в степной зоне КБР на селекционном участке ООО ССЦ «ОТБОР» в 2021–2022 гг. Почвы селекционного участка представлены слабомощными карбонатными черноземами, тяжелосуглинистыми, малогумусными, расположенными на слабоволнистой равнине. Содержание гумуса – 3%. Предшественник – горох. После уборки кукурузы проводили дискование в два следа, затем глубокое рыхление на глубину 30 см. Весной – боронование, внесение удобрений (РУМ Сульфоаммофос N20:P20:S12) методом разбрасывания с нормой 150 кг/га в физическом весе под первую культивацию. Вносили почвенный гербицид «Позитив» с нормой 3 л/га. Посев вели селекционной сеялкой «Клен 2,8» на глубину 6 см с густотой 60 000 семян/га. Длина делянки – 7 м, ширина – 1,4 м, площадь – 9,8 м^2, повторность 3-кратная. За период вегетации проведены: одна гербицидная обработка («Приоритет» 1,3 л/га + «Дианат» 0,5 л/га), одна междурядная культивация, 2 полива.

Уборку гибридных делянок проводили селекционным комбайном Wintersteiger Delta. Посев – в оптимальные сроки (апрель – май) при температуре почвы на глубине сева +12°С. Все скрещивания проводились вручную с использованием пергаментных изоляторов, сбор и учет урожая селекционного материала проводился вручную.

Анализ содержания основных биохимических компонентов (белок, масло, крахмал) зерна на 780 початках экспериментальных высококрахмалистых гибридов в навеске 100 г методом ИК-спектрометрии проведен на приборе Infratec 1241 Grain Analyzer (Швеция) в отделе биохимии и молекулярной биологии ВИР. Определение нативного крахмала и выхода побочной продукции проведено в лаборатории качества крахмальной продукции ВНИИ крахмалопродуктов им. В.М. Горбатова. Анализ количества крахмала и побочных продуктов,

Таблица 1. Лучшие гибридные комбинации, показавшие очень высокое содержание крахмала в зерне, определенное методом ИК-спектрометрии

Table 1. The best hybrid combinations with very high starch content in their grain as identified by means of IR spectrometry

Гибрид / Hybrid	Группа спелости по классификации ФАО / Maturity group according to the FAO classification	Содержание в зерне, % СВ/ Content in grain, % DM		
		Белок / Protein	Крахмал / Starch	Масло / Oil
OL 3407 M × MP 231	250	9,65	72,16	3,91
OL 273 M × Л. К. 17	250	10,06	72,02	3,74
OL 273 M × MP 386	250	9,23	72,00	3,95
OL 273 M × Л. К. 10	270	10,02	72,52	3,62
OL 3104 M × д-13р. Оранж.	300	9,46	72,23	3,90
OL 3104 M × 40/25	300	10,1	72,19	3,90
OL 3407 M × 14/99	300	10,29	72,13	4,21
OL 3104 M × 35/5	300	10,9	72,12	3,49
OL 3104 зМ × ИП 99	300	10,4	72,03	3,98
OL 3407 зМ × MP 325	320	8,98	72,65	4,08
A 679 M × MP 387	350	9,13	72,34	4,3
A 679 M × MP 385	350	9,49	72,31	3,85
A 679 M × MP 3816	350	8,73	72,22	3,89
A 679 M × MP 3817	380	9,33	72,38	3,85
A 679 M × MP 3815	380	9,59	72,04	3,49
ГК 26 M × MP 455	400	8,99	72,67	3,92

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

Гибрид / Hybrid	Группа спелости по классификации ФАО / Maturity group according to the FAO classification	Содержание в зерне, % СВ/ Content in grain, % DM		
		Белок / Protein	Крахмал / Starch	Масло / Oil
ГК 26 М × 19/6	400	10,26	72,09	3,34
ГК 26 М × Л. К. 31	400	9,96	72,07	3,86
ГК 26 М × Л. К. 28	400	10,24	72,06	3,72
ГК 26 М × МР 406	400	9,89	72,03	3,95
ГК 26 М × МР 601	420	9,34	72,52	3,90
МР 385 × OL 563 зС	450	10,45	72,07	3,67

получаемых при переработке зерна кукурузы, проведен по ГОСТ 10845-98 «Зерно и продукты его переработки» (GOST 10845-98..., 2009). Переработка зерна на крахмал и побочные продукты осуществлялась на лабораторной установке «завод на столе», разработанной во ВНИИК – филиале ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова в 2015 г. по методу, предложенному Л. П. Носовской (Goldshtein et al., 2015). Образцы кукурузного зерна весом 300 г исследовали в трех повторностях.

Полевые опыты проведены согласно методическим рекомендациям по проведению полевых опытов с кукурузой (Guidelines for conducting..., 1980). Статическую обработку данных проводили по Б. А. Доспехову (Dospekhov, 2011). Фенологические наблюдения и учет урожая зерна проводили по методике ВИР (Shmaraev, Matveeva, 1985), агротехнические мероприятия – по методическим указаниям по производству гибридных семян кукурузы (Sotchenko, 2009). Описание биометрических показателей приведены согласно «Широкому унифицированному классификатору СЭВ вида *Zea mays* L.» (Kukekov, 1977). Уборочную влажность зерна определяли с помощью влагомера «ФАУНА-М». Статистическая обработка полученных данных проводилась при помощи пакета программ Statistica 10.0 (https://1soft.space/en/statsoft-statistica/).

Результаты

В результате анализа биохимического состава зерна 780 экспериментальных гибридов крахмалистой кукурузы выделено 530 гибридов, у которых содержания крахмала составило 70–72% при пониженном количестве белка (8–10%) и масла (3-4%) в среднем. В зерне 22 гибридов содержание крахмала варьировало в пределах 72,0–72,67% (табл. 1). Доля успешности селекции высококрахмалистых (не ниже 69%) гибридов в выборке составила 67,9%, а ультравысококрахмалистых (не ниже 72%) – 2,8%.

В ходе работы по результатам ИК-анализа выделили пять гибридных комбинаций в качестве перспективных для глубокой переработки зерна на крахмал (табл. 2). Эта группа гибридов выделена отдельно по той причине, что высокое содержание крахмала обычно сопровождается низким содержанием белка и масла в зерне. В зерне этих пяти гибридов обнаружилось высокое содержание белка (10,3–13,53%) и масла (3,77–5,03%) вместе с относительно высоким содержанием крахмала (69,02–70,4%). Такое соотношение содержания крахмала с содержанием белка и масла является перспективным с высокой рентабельностью для селекции гибридов высококрахмалистой

Таблица 2. Перспективные для глубокой переработки зерна гибриды высококрахмалистой кукурузы, определенные методом Л. П. Носовской с соавторами (Nosovskaya et al., 2018)

Table 2. High-starch maize hybrids promising for deep grain processing, identified according to Nosovskaya et al. (2018)

Гибрид / Hybrid	Группа спелости по классификации ФАО / Maturity group according to the FAO classification	Содержание в зерне, % СВ/ Content in grain, % DM		
		Белок / Protein	Крахмал / Starch	Масло / Oil
ДК 66 × МР 232	200	10,30	70,40	5,03
МР 408 × OL 409 зМ	400	10,40	69,86	5,02
ДК 66 × МР 251	200	13,50	69,02	4,03
ГК 26 зМ × 5027 (4ѳ)	400	13,53	69,13	3,95
ДК 66 × МР 355	250	12,40	69,91	3,77

кукурузы, предназначенных для технологии глубокой переработки зерна.

Результаты двухлетних испытаний позволили определить урожайность лучших гибридов в сравнении со стандартами для каждой группы спелости по ФАО. Последующее ранжирование высокоурожайных гибридов по содержанию крахмала в зерне сократило объем выборки до 71 гибрида, у которых содержание крахмала варьировало в пределах от 69 до 71%. Доля успешности селекции гибридов с таким содержанием крахмала в зерне в общей выборке составило 9,1% от общего количества гибридных комбинаций.

Все отцовские линии (71 линия) лучших гибридных комбинаций были ранжированы на принадлежность к трем основным гетерозисным группам кукурузы по значению урожайности в гибридах с тестерами. Тестеры, использованные в качестве материнских форм, были представлены линиями с уже известной гетерозисной группой. Ранжирование коллекции отцовских линий по принадлежности к гетерозисной группе позволит в дальнейшем подбирать оптимальный генотип материнской формы с прогнозируемым гетерозисным эффектом, что значительно сократит объем бесперспективных гибридных комбинаций. Так, широко известная в мировой селекционной практике линия B73 принадлежит к гетерозисной группе Stiff Stalk Synthetic, которая имеет высокое значение эффекта гетерозиса с линией Mo17, относящейся к гетерозисной группе Lancaster. Линия Гк26 принадлежит к гетерозисной группе Iowa Dent и характеризуется одинаковым значением эффекта гетерозиса как с линиями из группы Lancaster, так и с линиями из гетерозисной группы Stiff Stalk Synthetic. Результаты ранжирования отцовских линий показали, что к гетерозисной группе Iowa Dent относятся 57 линий, к группе Stiff Stalk Synthetic – 28 линий и к группе Lancaster – 26 линий (рис. 1). Остальные 28 линий отнесены к неопределенной либо к смешанной гетерозисной группе.

Распределение лучших высококрахмалистых (70–72% СВ) гибридов по группам спелости показало, что 14 комбинаций принадлежат к группе спелости по ФАО 200–299, 7 комбинаций – к группе 300–399, 21 комбинация – к группе 400–449 и 29 комбинаций – к группе 450–500 (рис 2). Остальные комбинации имели содержание крахмала менее 70% СВ.

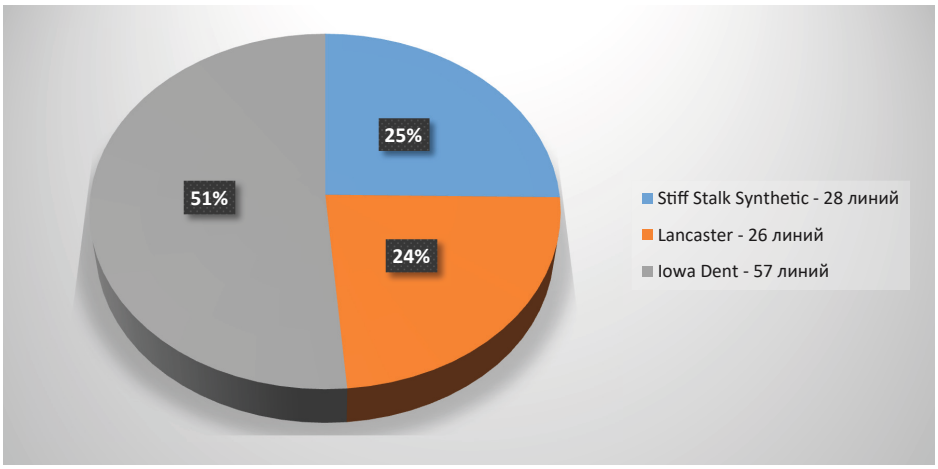


Рис. 1. Ранжирование отцовских линий гибридов кукурузы по основным гетерозисным группам

Fig. 1 . Ranking of the paternal lines of maize hybrids according to main heterosis groups

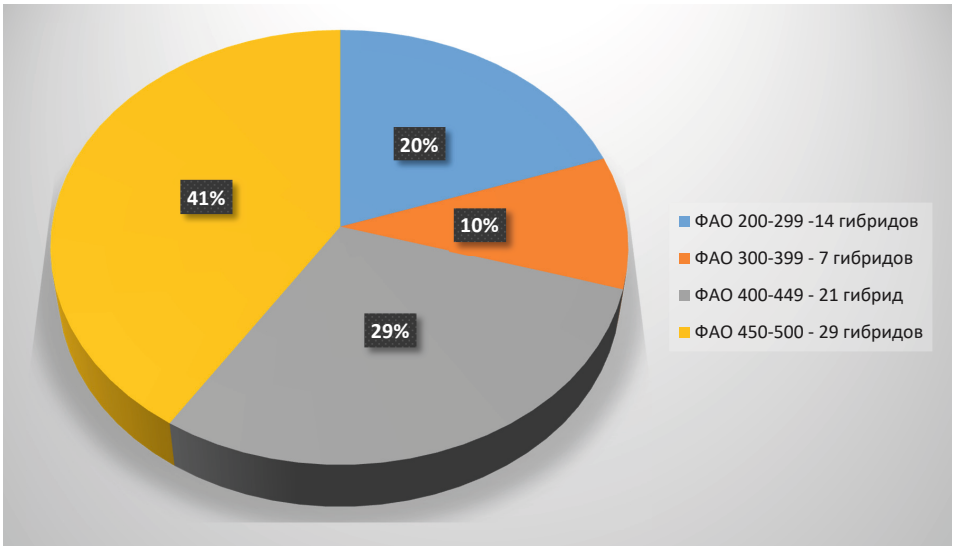


Рис. 2. Ранжирование лучших высококрахмалистых (70–72% СВ) гибридов по группам спелости (по классификации ФАО)

Fig. 2. Ranking of the best high-starch (70–72% DMB) hybrids according to maturity groups (FAO classification)

Содержание крахмала в зерне 39 лучших гибридов, полученных с участием тестеров из группы Stiff Stalk Synthetic, показало, что значения варьировали в пределах от 70,02 до 71,51% СВ (табл. 3). Значения средних значений содержания крахмала по каждому из тестеров показали, что выраженного материнского эффекта на содержание крахмала какого-либо из тестеров не обнаружено. Повышенное содержание крахмала в зерне гибридов чаще наблюдалось в группе спелости по ФАО от 400 до 500 (7 гибридов) и немногим меньше у групп спелости ФАО 200–299 и 300–399, по 2 гибрида в каждой.

Выборка гибридных комбинаций с гетерозисной группой Lancaster, превысивших пороговое значение содержания крахмала, была представлена 14 гибридами, содержание крахмала которых варьировало в пределах 70,03–71,28% СВ. Средние значения по тестерам также не показали влияния какой-либо материнской линии на накопление крахмала в зерне. Все средние значения были ровными, в пределах 70,56–70,89% СВ. Значение содержания крахмала в зерне 71% и выше обнаружено у 2 линий раннеспелой группы (ФАО 200–299 и 300–399), показавших 71,17 и 71,28% СВ соответственно.

Таблица 3. Значения содержания крахмала (выше 69%) в зерне лучших тест-кроссов с тестерами, принадлежащими к гетерозисной группе кукурузы Stiff Stalk Synthetic

Table 3. Starch content values (above 69%) in the grain of the best test crosses with testers belonging to the Stiff Stalk Synthetic heterotic group of maize

Отцовские формы Paternal forms	Группа спелости по ФАО / FAO maturity group	Stiff Stalk Synthetic			
		OL 3104	OL 273	A 679	OL 563
1213-12	400–449			71,01	
1213-12	450–500				71,23
1217-9	450–500				70,74
1219-5	450–500				71,07
OL 199	200–299	70,23			
OL 389	200–299	70,22			
OL 502	450–500				70,75
OL 573-1	450–500				70,69
Кр 0685	450–500				70,87
Кр 0703	400–449			70,02	
Кр 0703	450–500				71,34
МР 232	200–299	70,8			
МР 321	200–299	71,1			
МР 321	300–399		71,48		
МР 333	200–299	71,49			
МР 356	200–299	70,53			
МР 3816	200–299	70,32			
МР 3816	300–399		71,51		
МР 3817	450–500				70,82
МР 3819	450–500				70,74
МР 389	200–299	70,25			
МР 407	450–500				70,79
МР 408	400–449			70,4	
МР 408	450–500				71,2
МР 424	450–500				71,18
МР 453	400–449			70,53	
МР 453	450–500				70,8
МР 455	450–500				71,27
МР 457	450–500				70,35

Таблица 3. Окончание

Table 3. The end

Отцовские формы Paternal forms	Группа спелости по ФАО / FAO maturity group	Stiff Stalk Synthetic			
		OL 3104	OL 273	A 679	OL 563
MP 481	400–449			70,77	
MP 481	450–500				70,26
MP 501	450–500				71,26
MP 502	450–500				70,69
MP 504	400–449			70,73	
MP 552	450–500				70,16
Хат 102	400–449			70,81	
Хат 102	450–500				70,39
Хат 112	450–500				70,76
Хат-4035	450–500				70,54
Всего комбинаций		8	2	7	22
$X_{ср}$ по тестеру		70,61	71,49	70,61	70,81

Гибридные комбинации с тестерами из гетерозисной группы Iowa Dent представлены 15 гибридами, превысившими пороговое значение выборки. Варьирование значений содержания крахмала в зерне находилась в пределах от 70,09 до 71,95% СВ. Одно из самых высоких значений извлечения нативного крахмала показала комбинация двух родственных линий 1217-9 и 1219-5 с одним тестером OL 409. В этих комбинациях было извлечено по 71,95% СВ нативного крахмала, что является самым большим показателем среди всей выборки лучших 68 гибридов. Распределение по группам спелости гибридов с высоким (71% и выше) содержанием нативного крахмала показало принадлежность трех гибридов к группе ФАО 400–449 с варьированием содержания крахмала в зерне в пределах 71,38–71,95% СВ.

В результате проведенного ранжирования гибридных комбинаций по реакции на гетерозисные группы можно выделить отдельные отцовские формы, способствующие самому высокому (71–72%) накоплению нативного крахмала в зерне.

1. Stiff Stalk Synthetic – 12 линий:

MP 501, MP 455, MP 408, MP 424, Кр 0703, 1219-5, 1213-12 с OL563;

MP 3816, MP 321 с OL273; MP 333, MP 321 с OL3104; 1213-12 с A679;

2. Lancaster – 2 линии:

MP 385 с ДК 66 и К-Л-47 с L 5300 Lancaster

3. Iowa Dent – 3 линии:

1217-9, 1219-5, MP 506 с OL 409 Iowa Dent

Из 12 материнских форм наилучшие результаты по накоплению нативного крахмала показали 7 тестеров, из которых:

1. OL563, OL273, OL3104, A679 в группе Stiff Stalk Synthetic;

2. ДК 66, L 5300 в группе Lancaster;

3. OL 409 в группе Iowa Dent.

Распределение количества гибридов с содержанием крахмала в зерне выше 69% по гетерозисным группам показало, что больше половины гибридов (57,35%) приходится на гибриды из гетерозисной группы Stiff Stalk Synthetic, а на долю гетерозисных групп Lancaster и Iowa Dent приходится 20,59% и 22,05% соответственно (рис. 3). Анализ среднего значения накопления крахмала в гибридах трех гетерозисных групп показал, что динамика имеет следующий вид: 70,87% СВ → 70,71% СВ → 70,61% СВ при переходе от гетерозисной группы Stiff Stalk Synthetic → Lancaster → Iowa Dent соответственно.

Анализ результатов полевого испытания гибридов на реакцию М- и С-типов ЦМС позволил выявить как закрепители и восстановители, так и промежуточные формы с неполным закреплением/восстановлением стерильности метелок (табл. 4, 5). Тест-кроссы на тестер с М-типом стерильности показали, что 17 гибридов из 33 оказались полными закрепителями и 6 гибридов – полными восстановителями стерильности. Остальные 16 гибридов отнесены к неполным закрепителям/восстановителям стерильности. По группам спелости ФАО гибриды распределились преимущественно в сторону позднеспелых, с ФАО выше 400. К среднеспелой отнесено 4 гибрида с ФАО 300–399 и один раннеспелый с ФАО 220.

Результаты тест-кроссов на тестеры с С-типом ЦМС показали, что 6 линий характеризовались полной закрепительной и 6 линий – полной восстановительной способностью. Неполных закрепителей/восстановителей стерильности среди тест-кроссов на С-тип ЦМС обнаружено не было. Следует отметить, что в качестве источника С-типа ЦМС выступил единственный тестер OL 563 С, поэтому все они относятся к позднеспелой группе ФАО 400–499 и лишь один отнесен к среднеспелой группе с ФАО 380.

Результаты ранжирования отцовских линий гибридов по реакции на ЦМС позволило выделить 17 линий полных закрепителей и 16 линий с неполным закреплением ЦМС М-типа, а также 8 линий полных восстановителей М-типа стерильности (рис. 4). По реакции на С-тип удалось выделить 6 закрепителей и 8 линий восстановителей, при полном отсутствии полувосстановителей и полузакрепителей С-типа ЦМС.

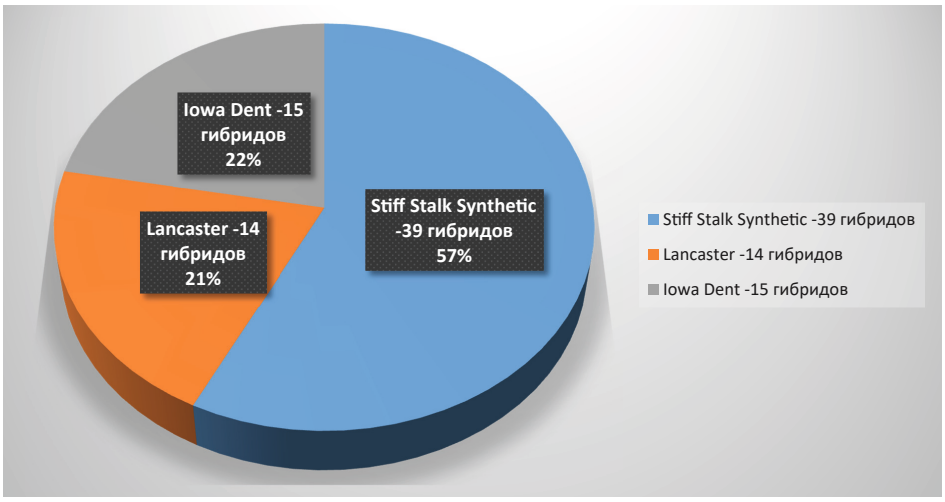


Рис. 3. **Число гибридных комбинаций кукурузы с содержанием крахмала в зерне выше 69%, распределенных по гетерозисным группам тестеров**

Fig. 3. **The number of hybrid combinations of maize with grain starch content higher than 69%, and their distribution among heterotic groups of testers**

Таблица 4. **Ранжирование отцовских линий по реакции на М-тип ЦМС**

Table 4. **Ranking of the paternal lines according to their responses to CMS-S**

Отцовские формы / Paternal forms	Группа спелости по ФАО / FAO maturity group	Реакция на ЦМС М-тип / Response to CMS-S	
		Закрепитель / Sterility maintainer	Восстановитель / Fertility restorer
OL 199	220	OL 3104 M	
Fr 1204	300	OL 3407 M OL 3104 M	
ИП 99	300	OL 273 M	
OL 389	380	OL 409 M	
OL 398	380	ГК 26 M*	A 679 M
OL 399	400	ГК 26 M*	
Кр 0703	430	ГК 26 M*	
1/164	450	ГК 26 M*	
Дк 534-1	450	A 679 M* OL 409 M*	ГК 26 M
OL 457	450		A 679 M
Кр 0685	480	OL 409 M ГК 26 M	
ХАТ-4043	480	A 679 M ГК 26 M	
Хат 102	480	A 679 M	
1213-12	480	OL 409 M* ГК 26 M*	
OL 573-1	480	A 679 M* ГК 26 M*	
ХАТ-4016	480	OL 409 M ГК 26 M	
ХАТ-4035	480	A 679 M ГК 26 M	

Таблица 4. Окончание
Table 4. The end

Отцовские формы / Paternal forms	Группа спелости по ФАО / FAO maturity group	Реакция на ЦМС М-тип / Response to CMS-S	
		Закрепитель / Sterility maintainer	Восстановитель / Fertility restorer
Хат 112	480	А 679 М* ГК 26 М*	
1217-9	480	ГК 26 М	А 679 М
ХАТ-4041	480	OL 409 М* ГК 26 М*	
1/130-4-3	480	ГК 26 М	
1/122-3	480		OL 409 М ГК 26 М
1219-5	480	ГК 26 М*	
ХАТ-3020	480	ГК 26 М*	
1218-2	480	ГК 26 М	
Всего комбинаций		33	6

Примечание: * – неполные закрепители стерильности
Note: * – incomplete sterility maintainers

Таблица 5. Ранжирование отцовских линий по реакции на С-тип ЦМС
Table 5. Ranking of the paternal lines according to their responses to CMS-C

Отцовские формы / Paternal forms	Группа спелости по ФАО / FAO maturity group	Реакция на ЦМС С-тип / Response to CMS-C	
		Закрепитель / Sterility maintainer	Восстановитель / Fertility restorer
OL 398	380		OL 563 C
1/73-10	400	OL 563 C	
OL 399	400		OL 563 C
Кр 0703	430		OL 563 C
Кр 0685	480		OL 563 C
ХАТ-4043	480		OL 563 C
1213-12	480		OL 563 C
OL 573-1	480		OL 563 C
ХАТ-4016	480	OL 563 C	
ХАТ-4035	480	OL 563 C	
Хат 112	480	OL 563 C	
1217-9	480		OL 563 C
ХАТ-4041	480	OL 563 C	
1/122-3	480	OL 563 C	
Всего комбинаций		6	8

Примечание: * – неполные закрепители стерильности
Note: * – incomplete sterility maintainers

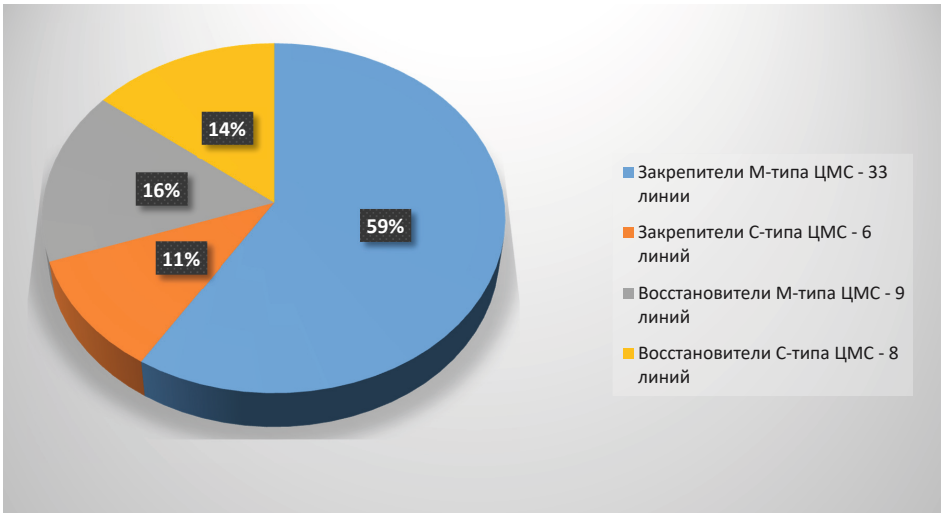


Рис. 4. Распределение инбредных линий по закрепительной и восстановительной реакции на М- и С-типы ЦМС в тест-кроссах

Fig. 4. Distribution of inbred lines according to their maintaining or restoring responses to CMS-S and CMS-C in test crosses

Обсуждение

Результаты селекции и последующих двухлетних испытаний 780 экспериментальных гибридов высококрахмалистой кукурузы в агроклиматических условиях степной зоны КБР показали варьирование урожайности зерна для разных групп спелости (ФАО 200–500) в среднем от 7 до 12 т/га. При этом изменчивость крахмала в зерне составляла от 58% до 72%. Выделены 22 гибридных комбинации, которые показали очень высокое (72–73%) содержание крахмала в зерне. Выделены пять гибридных комбинаций, которые характеризуются, наравне с высоким содержанием крахмала в зерне, относительно повышенным содержанием белка (12%) и масла (6%). Такие гибриды обладают повышенной рентабельностью при глубокой переработке зерна благодаря высокой доле побочной продукции в виде белка, кукурузного глютена и масла в виде кукурузных зародышей. Результаты полевых испытаний высококрахмалистых гибридов кукурузы показали повышенную устойчивость к полеганию при орошении в условиях степной зоны КБР (густота стояния растений – 62 тыс. раст./га) и дифференцированную скорость влагоотдачи зерна при созревании, а также различную устойчивость к широко распространенным в Северо-Кавказском федеральном округе болезням кукурузы (пузырчатая головня, фузариоз початка) на естественном инфекционном фоне. Гибридных комбинаций с выраженной устойчивостью к поражению вредителями (хлопковая совка, стеблевой мотылек) на естественном фоне выявлено не было. Ранжирование 71 отцовской линии позволит в дальнейшем прогнозировать гетерозис для подбора родительских пар гибридных комбинаций.

В результате многолетних селекционных исследований и двухлетних полевых испытаний создали 71 экспериментальный простой гибрид с высоким (не менее 70%) содержанием крахмала. Гибриды относятся к разным группам спелости по ФАО (200–500) и имеют потенциальную урожайность зерна от 7 до 12 т/га. Созданные гибриды могут служить сырьем для глубокой переработки зерна отечественными крахмальными заводами.

Заключение

В результате длительной селекции инбредных линий кукурузы на высокое содержание крахмала в зерне и их тестирования на гетерозис и реакцию на ЦМС М- и С-типов установлено, что экспериментальные гибриды характеризуются высоким потенциалом продуктивности как нативного крахмала, так и побочной продукции при глубокой переработке зерна. Фактическое извлечение крахмала из зерна у 68 гибридов из 780 находится в пределах 70–71,75% СВ, что свидетельствует о конкурентоспособности полученных комбинаций для импортозамещения гибридов зарубежной селекции. Созданы источники 23 стерильных материнских форм для селекции трехлинейных гибридов и 14 фертильных простых гибридов. Отцовские формы с неполным закреплением/восстановлением стерильности нуждаются в дальнейшей селекционной проработке (инбредировании) до получения стабильных полных закрепителей или восстановителей ЦМС. Ранжирование гибридов по принадлежности к трем гетерозисным группам не выявило какого-либо выраженного эффекта материнской плазмы на накопление крахмала в зерне, но показало незначительную специфичность некоторых тестеров по этому признаку. Наибольшее количество гибридов с высоким содержанием крахмала получено при гибридизации отцовских форм на стерильных тестерах принадлежащих к гетерозисной группе Stiff Stalk Synthetic, независимо от типа ЦМС.

References / Литература

Abu-Ghannam N., Balboa E. Biotechnological, food, and health care applications. In: C.M. Galanakis (ed.). *Woodhead Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products: A volume in Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*. Cambridge: Woodhead Publishing Inc.; 2018. p.253-278. DOI: 10.1016/B978-0-08-102162-0.00009-5

Burrell M.M. Starch: the need for improved quality or quantity – an overview. *Journal of Experimental Botany*. 2003;54(382):451-456. DOI: 10.1093/jxb/erg049

BusinesStat. Analysis of the starch market in Russia in 2017–2021, forecast for 2022–2026. Market prospects under sanctions (BusinesStat. Analiz rynka krakhmala v Rossii v 2017–2021 gg, prognoz na 2022–2026 gg. Perspektivy rynka v usloviyakh sanktsiy). BusinesStat; 2022. [in Russian] (BusinesStat. Анализ рынка крахмала в России в 2017–2021 гг., прогноз на 2022–2026 гг. Перспективы рынка в условиях санкций. BusinesStat; 2022). URL: https://marketing.rbc.ru/research/27441/ [дата обращения: 01.08.2023].

Dospekhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]). 6th ed. Moscow: Alyans; 2011. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд. Москва: Альянс; 2011).

Gabay-Laughnan S., Kuzmin E.V., Monroe J., Roark L., Newton K.J., Characterization of a novel thermosensitive restorer of fertility for cytoplasmic male sterility in maize. *Genetics*. 2009;182(1):91-103. DOI: 10.1534/genetics.108.099895

Goldshtein V.G., Nosovskaya L.P., Adikaeva L.V. About processing of by-products from corn grain into starch. *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva i khraneniya materialnykh tsennostey dlya gosudarstvennykh nuzhd = Innovative Technologies for the Production and Storage of Material Assets for National Needs*. 2015;4(4):46-52. [in Russian] (Гольдштейн В.Г., Носовская Л.П., Адикаева Л.В. О возможности переработки вторичных продуктов производства кукурузной крупы на крахмал. *Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд*. 2015;4(4):46-52).

Goldstein V., Lukin N., Radin O. By-products of starch-and-treacle production as feed components. *Compound Feeds*. 2018;7(8);54-56. [in Russian] (Гольдштейн В., Лукин Н., Радин О. Побочные продукты крахмалопаточного производства – кормовые компоненты. *Комбикорма*. 2018;7(8):54-56). DOI: 10.25741/2413-287X-2018-07-3-012

GOST 10845-98. Interstate standard. Cereals and cereal milled products. Method for determination of starch. Official edition. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification; Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ 10845-98. Межгосударственный стандарт. Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала. Издание официальное. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Москва: Стандартинформ; 2009). URL: https://files.stroyinf.ru/Data/88/8817.pdf [дата обращения: 01.08.2023].

Guidelines for conducting field experiments with maize (Metodicheskiye rekomendatsii po provedeniyu polevykh opytov s kukuruzoy). Dnepropetrovsk: All-Union Research Institute of Maize; 1980. [in Russian] (Методические рекомендации по проведению полевых опытов с кукурузой. Днепропетровск: ВНИИ кукурузы; 1980).

Hallauer A.R., Russell W.A., Lamkey K.R. Corn breeding. In: G.F. Sprague, J.W. Dudley (eds). *Corn and Corn Improvement. Agronomy Monographs*. *Volume 18*. 3rd ed. Madison, WI: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America; 1988. p.463-564. DOI: 10.2134/agronmonogr18.3ed.c8

Jaqueth J.S., Hou Z., Zheng P., Ren R., Nagel B.A., Cutter G. et al. Fertility restoration of maize CMS-C altered by a single amino acid substitution within the Rf4 bHLH transcription factor. *The Plant Journal*. 2020;101(1):101-111. DOI: 10.1111/tpj.14521

Kamps T.L., Chase C.D. FLP mapping of the maize gametophytic restorer-of-fertility locus (*rf3*) and aberrant pollen transmission of the nonrestoring *rf3* allele. *Theoretical and Applied Genetics*. 1997;95:525-531. DOI: 10.1007/s001220050593

Kaur B., Ariffin F., Bhat R., Karim A.A. Progress in starch modification in the last decade. *Food Hydrocolloids*. 2012;26(2):398-404. DOI:10.1016/j.foodhyd.2011.02.016

Kim Y.J., Zhang D. Molecular control of male fertility for crop hybrid breeding. *Trends in Plant Science*. 2018;23(1):53-65. DOI: 10.1016/j.tplants.2017.10.001

Kukekov V.G. (comp.). Broad unified COMECON list of descriptors and international COMECON list of descriptors for sp. *Zea mays* L. Leningrad: VIR; 1977. [in Russian] (Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ видов *Zea mays* L. / сост. В.Г. Кукеков. Ленинград: ВИР; 1977).

Laughnan J.R., Gabay S.J. Nuclear and cytoplasmic mutations to fertility in S male-sterile maize. In: Walden (ed.). *Maize Breeding and Genetics*. New York, NY: Wiley; 1978. p.427-447.

Pajić Z., Radosavljević M., Filipović M., Todorović G., Srdić J., Pavlov M. Breeding of specialty maize for industrial purposes. *Genetika*. 2010;42(1):57-66. DOI: 10.2298/GENSR1001057P

Pollak L.M., Scott M.P. Breeding for grain quality traits. *Maydica*. 2005;50(3):247-257.

Shmaraev G.E., Matveeva G.V. Study and maintenance of the maize collection accessions. Guidelines (Izucheniye i podderzhaniye obraztsov kollektsii kukuruzy. Metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1985. [in Russian] (Шмараев Г.Е., Матвеева Г.В. Изучение и поддержание образцов коллекции кукурузы. Методические указания. Ленинград: ВИР; 1985).

Sinha A.K., Kumar V., Makkar H.P.S., De Boeck G., Becker K. Non-starch polysaccharides and their role in fish nutrition – A review. *Food Chemistry*. 2011;127(4):1409-1426. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.02.042

Sisco P.H. Duplications complicate genetic mapping of *Rf4*, a restorer gene for cms-C cytoplasmic male sterility in corn. *Crop Science*. 1991;31(5):1263-1266. DOI: 10.2135/cropsci1991.0011183X003100050036x

Somavat P., Liu W., Singh V. Wet milling characteristics of corn mutants using modified processes and improving starch yields from high amylose corn. *Food and Bioproducts Processing*. 2021;126:104-112. DOI: 10.1016/j.fbp.2020.12.015

Sotchenko V.S. Maize breeding, seed production, and cultivation technology (Selektsiya, semenovodstvo, tekhnologiya vozdelyvaniya kukuruzy). Pyatigorsk; 2009. [in Russian] (Сотченко В.С. Селекция, семеноводство, технология возделывания кукурузы. Пятигорск; 2009).

StatSoft Russia: [website]. [in Russian] (StatSoft Russia: [сайт]). URL: https://1soft.space/en/statsoft-statistica/ [дата обращения: 11.07.2023].

Tang J.H., Liu Z.H., Chen W.C., Hu Y.M., Ji H.Q., Ji L.Y. The SSR markers of the main restorer genes for cms-C cytoplasmic male sterility in maize. *Scientia Agricultura Sinica*. 2001;34:592-596.

Tie S., Xia J., Qiu F., Zheng Y. Genome-wide analysis of maize cytoplasmic male sterility-S based on QTL mapping. *Plant Molecular Biology Reporter*. 2006;24:71-80. DOI: 10.1007/BF02914047

Ullstrup A.J. The impacts of the southern corn leaf blight epi-

demics of 1970–1971. *Annual Review of Phytopathology*. 1972;10:37-50. DOI: 10.1146/annurev.py.10.090172.000345

Watson S.A. Description, development, structure, and composition of the corn kernel. In: P.J. White, L.A. Johnson (eds). *Corn Chemistry and Technology*. 2nd ed. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists; 2003. p.69-106.

Weider C., Stamp P., Christov N., Hüsken A., Foueillassar X., Camp K.H. et al. Stability of cytoplasmic male sterility in maize under different environmental conditions. *Crop Science*. 2009;49(1):77-84. DOI: 10.2135/cropsci2007.12.0694

Zhang R., Ma S., Li L., Zhang M., Tian Sh., Wang D. et al. Comprehensive utilization of corn starch processing by-products: A review, *Grain and Oil Science and Technology*. 2021;4(3):89-107. DOI: 10.1016/j.gaost.2021.08.003

Zhang Z.F., Wang Y., Zheng Y.L. AFLP and PCR-based markers linked to *Rf3*, a fertility restorer gene for S cytoplasmic male sterility in maize. *Molecular Genetics and Genomics*. 2006;276(2):162-169. DOI: 10.1007/s00438-006-0131-y

Zheng H., Wang H., Yang H., Wu J, Shi B., Cai R. et al. Genetic diversity and molecular evolution of Chinese waxy maize germplasm. *PLoS One*. 2013;8(6):e66606. DOI: 10.1371/journal.pone.0066606

Информация об авторах

Милана Руслановна Фирсова, аспирант, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, milagonikova001@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-6995-9015

Беслан Рашадович Шомахов, старший научный сотрудник, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, 360004 Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224, shomaxov.beslan@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9897-8434

Рита Сарабиевна Кушхова, научный сотрудник, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, 360004 Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224, kushkhova.r@inbox.ru, https://orcid.org/0009-0006-8851-5819

Зинаида Темирбиевна Хаширова, младший научный сотрудник, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, 360004 Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224, khashirova.z@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-8843-3683

Руслан Абузедович Кудаев, научный сотрудник, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, 360004 Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224, boss_rusik@mail.ru, https://orcid.org/0009-0009-3901-856X

Азамат Хасбиевич Гяургиев, младший научный сотрудник, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, 360004 Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224, agyaurgiyev@inbox.ru, https://orcid.org/0009-0008-4707-8557

Сафар Пахауович Аппаев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, 360004 Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224, appaev-safar@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9741-8646

Алан Мухамедович Кагермазов, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, 360004 Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224, kagermazov.alan@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-8639-050X

Азамат Валерьевич Хачидогов, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, 360004 Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224, azamat.xa@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5722-3163

Асланбек Иссаевич Бузуртанов, научный сотрудник, Ингушский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, 386203 Россия, Республика Ингушетия, Сунжа, ул. Осканова, 50, buzurtanov.aslanbek@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3438-5987

Кульсум Шоидовна Бадургова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Ингушский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, 386203 Россия, Республика Ингушетия, Сунжа, ул. Осканова, 50, kulsum1977@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8203-2481

Магомед Алаудинович Базгиев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Ингушский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, 386203 Россия, Республика Ингушетия, Сунжа, ул. Осканова, 50, ishos06@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7529-6171

Владимир Георгиевич Гольдштейн, кандидат технических наук, заведующий отделом, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха, 140051 Россия, Московская обл., Люберецкий р-н, пос. Красково, ул. Некрасова, 11, 6919486@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2042-0681

Валентина Ивановна Хорева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, horeva43@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2762-2777

Эдуард Балилович Хатефов, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, haed1967@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0001-5713-2328

Information about the authors

Milana R. Firsova, Postgraduate Student, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, milagonikova001@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-6995-9015

Beslan R. Shomakhov, Senior Researcher, Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Agriculture – branch of the KBSC RAS, 224 Kirova St., Nalchik 360004, Russia, shomaxov.beslan@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9897-8434

Rita S. Kushkhova, Researcher, Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Agriculture – branch of the KBSC RAS, 224 Kirova St., Nalchik 360004, Russia, kushkhova.r@inbox.ru, https://orcid.org/0009-0006-8851-5819

Zinaida T. Khashirova, Associate Researcher, Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Agriculture – branch of the KBSC RAS, 224 Kirova St., Nalchik 360004, Russia, khashirova.z@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-8843-3683

Ruslan A. Kudaev, Researcher, Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Agriculture – branch of the KBSC RAS, 224 Kirova St., Nalchik 360004, Russia, boss_rusik@mail.ru, https://orcid.org/0009-0009-3901-856X

Azamat Kh. Gyaurgiev, Associate Researcher, Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Agriculture – branch of the KBSC RAS, 224 Kirova St., Nalchik 360004, Russia, agyaurgiyev@inbox.ru, https://orcid.org/0009-0008-4707-8557

Safar P. Appaev, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Agriculture – branch of the KBSC RAS, 224 Kirova St., Nalchik 360004, Russia, appaev-safar@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9741-8646

Alan M. Kagermazov, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Agriculture – branch of the KBSC RAS, 224 Kirova St., Nalchik 360004, Russia, kagermazov.alan@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-8639-050X

Azamat V. Khachidogov, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Agriculture – branch of the KBSC RAS, 224 Kirova St., Nalchik 360004, Russia, azamat.xa@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5722-3163

Aslanbek I. Buzurtanov, Researcher, Ingush Scientific Research Institute of Agriculture, 50 Oskanova St., Sunzha 386203, Republic of Ingushetia, Russia, buzurtanov.aslanbek@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3438-5987

Kulsum Sh. Badurgova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Ingush Scientific Research Institute of Agriculture, 50 Oskanova St., Sunzha 386203, Republic of Ingushetia, Russia, kulsum1977@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8203-2481

Magomed A. Bazgiev, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Ingush Scientific Research Institute of Agriculture, 50 Oskanova St., Sunzha 386203, Republic of Ingushetia, Russia, ishos06@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7529-6171

Vladimir G. Goldshtein, Cand. Sci. (Engineering), Head of a Department, Russian Potato Research Center, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing – branch of the Russian Potato Research Center, 11 Nekrasova St., Kraskovo Settlem., Lyuberetsky District, Moscow Province 140051, Russia, 6919486@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2042-0681

Valentina I. Khoreva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, horeva43@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2762-2777

Eduard B. Khatefov, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, haed1967@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0001-5713-2328

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 22.08.2023; одобрена после рецензирования 04.03.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 22.08.2023; approved after reviewing on 04.03.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья
УДК 635.21:631.533:581.143.6
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-180-190

CC BY

Эффективность применения природных и синтетических ингибиторов вирусов в оздоровлении картофеля (*Solanum tuberosum* L.)

Е. В. Шищенко[1], И. В. Ким[1], Е. Н. Барсукова[1], И. М. Ермак[2], А. О. Кравченко[2], А. Г. Клыков[1]

[1] *Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Уссурийск, Россия*

[2] *Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия*

Автор, ответственный за переписку: Ирина Вячеславовна Ким, kimira-80@mail.ru

Актуальность. Разработка эффективных методов борьбы с вирусами является одной из наиболее актуальных задач в семеноводстве картофеля. Использование ингибиторов вирусов, в том числе синтетических, – наиболее распространенный метод борьбы с вирусами картофеля. Применение препаратов природного происхождения – один из способов уменьшить зависимость от синтетических веществ. Среди них экстракты морских водорослей демонстрируют высокий уровень перспективности за счет низкого или полного отсутствия вредного воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования использовали растения картофеля сортов ‘Посейдон’ и ‘Орион’, коммерческий противовирусный препарат «Рибавирин», сульфатированный полисахарид красных водорослей – каррагинан. Для детекции вирусных инфекций в растительных образцах применяли высокочувствительный метод ПЦР.

Результаты. Установлено, что применение рибавирина в концентрации 0,03% эффективно в оздоровлении картофеля от вирусов PVY – освобождение на 79,8%, PLRV – 77,0%, PVM – 80,3%, PVS – 84,5%. Наиболее успешно ингибированы вирусы PVY, PVM и PVS. Применение каррагинана как противовирусного вещества позволило освободить от вируса PLRV 74,7% эксплантов, PVM – 70,2%, PVS – 69,2%, PVY – 16,9%.

Заключение. Исследование противовирусной активности природного и синтетического ингибиторов вирусов на примере каррагинана и рибавирина экспериментально доказало их высокую эффективность. Отмечено, что природные полисахариды – каррагинаны – обладают выраженным противовирусным действием и их применение в области сельскохозяйственной биотехнологии перспективно. В результате эксперимента оздоровлены два сорта картофеля ‘Посейдон’ и ‘Орион’, которые включены в систему безвирусного семеноводства. Данные сорта в настоящее время проходят государственное сортоиспытание.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., семеноводство, оздоровление, *in vitro*, рибавирин, каррагинан

Благодарности: работа выполнена в рамках реализации государственных заданий Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки № 122022600066-1 «Создать новые генотипы сельскохозяйственных культур с высокой продуктивностью, устойчивые к абиотическим и биотическим факторам среды» и № 123070300016-9 «Изучение и выделение перспективных сортообразцов картофеля по комплексу хозяйственно значимых признаков с применением молекулярно-генетических методов».
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Шищенко Е.В., Ким И.В., Барсукова Е.Н., Ермак И.М., Кравченко А.О., Клыков А.Г. Эффективность применения природных и синтетических ингибиторов вирусов в оздоровлении картофеля (*Solanum tuberosum* L.). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):180-190. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-180-190

© Шищенко Е.В., Ким И.В., Барсукова Е.Н., Ермак И.М., Кравченко А.О., Клыков А.Г., 2024

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-180-190

Efficacy of natural and synthetic inhibitors in the elimination of viruses in potato (*Solanum tuberosum* L.)

Elena V. Shishchenko[1], Irina V. Kim[1], Elena N. Barsukova[1], Irina M. Yermak[2], Anna O. Kravchenko[2], Alexey G. Klykov[1]

[1] *Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk, Russia*

[2] *G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia*

Corresponding author: Irina V. Kim, kimira-80@mail.ru

Background. Developing new effective plant protection methods against viruses is a vital task for seed potato production. The use of virus inhibitors (mainly synthetic ones) is the most common method in potato virus control. Products of natural origin might be a way to reduce the dependence on synthetic inhibitors. Among the former, extracts from seaweeds have high potential, producing a low or no negative impact on the environment or human health.
Materials and methods. The materials of the research included potato cvs. 'Poseidon' and 'Orion' developed at the Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, the commercial antiviral product Ribavirin, and the sulfated polysaccharide – carrageenan – obtained from red algae at the G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry. A highly sensitive PCR method was employed to detect viral infections in plant samples.
Results. The efficacy of chemotherapy with Ribavirin (0.03%) was established at 79.8% against PVY, 77.0% against PLRV, 80.3% against PVM, and 84.5% against PVS. The most successfully eliminated viruses were PVY, PVM, and PVS. Carrageenan as an antiviral substance eliminated potato viruses at the following rates: PLRV in 74.7% of the explants, PVM in 70.2%, PVS in 69.2%, and PVY in 16.9%.
Conclusion. Analyzing the antiviral activity of natural and synthetic virus inhibitors in the case study of carrageenan and Ribavirin demonstrated their high efficacy against potato viruses. Natural polysaccharides – carrageenans – were observed to have a significant antiviral effect, so their use in agricultural biotechnology might be promising for new experiments. Our approach successfully eliminated viruses in two new promising potato cultivars, 'Poseidon' and 'Orion', which were included in the system of virus-free seed production. These cultivars were submitted for patenting and official testing under the State Variety Trials.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., seed production, virus elimination, *in vitro*, Ribavirin, carrageenan

Acknowledgements: the research was carried out within the framework of the state tasks assigned to the Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, No. 122022600066-1 "To develop new genotypes of agricultural crops with high productivity, resistant to abiotic and biotic environmental factors", and No. 123070300016-9 "Studying and identifying promising potato cultivars according to a set of important agronomic traits using molecular genetics methods".
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Shishchenko E.V., Kim I.V., Barsukova E.N., Yermak I.M., Kravchenko A.O., Klykov A.G. Efficacy of natural and synthetic inhibitors in the elimination of viruses in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):180-190. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-180-190

Введение

Одной из основных биологических особенностей *Solanum tuberosum* L. является размножение вегетативными органами (клубнями). По этой причине при возделывании картофеля возникают проблемы, связанные с физиологическим угасанием культуры и концентрацией патогенов, в том числе фитовирусов, которые негативно влияют на урожайность (Shahzad et al., 2017). К вирусам, наносящим серьезный ущерб производству картофеля, относятся вирус скручивания листьев картофеля (ВСЛК, Potato leaf roll virus, PLRV); вирусы мозаичной группы – Х-вирус картофеля (ХВК, Potato virus X, PVX), S-вирус картофеля (SBK, Potato virus S, PVS), М-вирус картофеля (МВК, Potato virus M, PVM), А-вирус картофеля (АВК, Potato virus A, PVA), Y-вирус картофеля (YBK, Potato virus Y, PVY), вирус метельчатости верхушки картофеля (ВМВК, Potato mop top virus, PMTV), вирус погремковости табака (ВПТ, Tobacco rattle virus, TRV) (Rogozina, Gurina, 2023). Установлено, что PLRV вызывает потери урожая до 40–60%, PVS – до 10–20%, PVX – до 10–50% и PVY – до 20–50%, причем смешанная фитовирусная инфекция приводит к значительно большему снижению урожайности, чем моноинфекция (Wang et al., 2018; Sobko et al., 2024). Отмечено, что экономический ущерб от перечисленных вирусов зависит от многих факторов, таких как регион возделывания культуры, штамм вируса, наличие смешанной инфекции, активность насекомых-переносчиков, климатические условия и уровень развития сельского хозяйства (Makarova et al., 2017). С целью борьбы с указанными факторами необходимо усовершенствование биотехнологических методов и применение современных технологий в семеноводстве картофеля (Malko et al., 2017; De Morais et al., 2018).

Одним из этапов получения высококачественного семенного материала является освобождение картофеля от вирусной нагрузки с использованием современных биотехнологических методов. Для получения картофеля *in vitro*, свободного от вирусов, и достаточного количества семенных клубней разработано несколько методов элиминации вирусов. На сегодняшний день наиболее известными методами оздоровления растений от патогенов вирусной природы являются термотерапия, культура верхушечных меристем, криотерапия, химиотерапия, электротерапия и комбинированные способы, сочетающие в себе различные вариации указанных технологий (Ukhatova et al., 2016).

Оптимальной при освобождении материала от вирусной инфекции, по мнению исследователей, считается комбинированная, или комплексная, терапия, которая сочетает в себе технологии культуры апикальных меристем, химио- и термотерапии, криотерапии в различных комбинациях. В конце XX века установлена высокая эффективность методов комплексной терапии, обеспечивающей освобождение растений картофеля от вирусов PLRV, PVY и PVS. Сотрудниками ВИР (Antonova et al., 2017) при использовании методов комбинированной термохимиотерапии получены микрорастения, оздоровленные от PVY, PVM, PVS, PVX.

По литературным данным, для оптимальной выживаемости меристемы и получения эксплантов положительные результаты установлены при сочетании химио- и термотерапии (Ali et al., 2014). Доказано, что используемая комбинация терапии эффективна при освобождении растений картофеля от различных штаммов YBK, которые не поддаются уничтожению методом культуры ткани.

Положительный эффект при оздоровлении картофеля значительно увеличивается при комплексном использовании методов апикальных меристем и химиотерапии, с добавлением в питательные среды противовирусных препаратов, которые влияют на *РНК*азы. Ранее отмечалось, что использование *РНК*азы в процессе оздоровления методами вычленения меристемы приводило к увеличению получения растений-регенерантов, свободных от вирусной инфекции, на 25–45% (Ryabtseva et al., 2015).

Очень важен правильный подбор препаратов, которые обладают противовирусным эффектом в различных концентрациях; при этом должны учитываться особенности генотипа и степень зараженности образцов фитопатогенами. Изучение и поиск химиотерапевтических препаратов, оказывающих избирательное действие на вирусы и при этом не угнетающих растения, являются своевременными и актуальными (Sharipova et al., 2013).

При использовании термо- и химиотерапии используют противовирусные препараты различной природы, включая *РНК*азу и ее аналоги, например хитозан, интерферон и др. В зарубежных странах предпочитают применять рибавирин. В Республике Беларусь исследователи используют аналоги 2’-5’-олигоаденилата, которые эффективно оздоравливают картофель от вирусов L, S, X, Y, M (Yuorieva et al., 2017; Barsukova et al., 2018). Отмечено, что рибавирин является наиболее многообещающим химическим веществом в борьбе с вирусами растений картофеля (Gong et al., 2019). Однако данный препарат может угнетать рост и развитие растений. Низкая скорость регенерации при высокой концентрации обусловлена фитотоксическим действием рибавирина (Barsukova et al., 2018; Kim et al., 2021, 2022). Исследования O. Danci (Danci et al., 2009) и M. Waswa et al. (2017) показали, что высокие концентрации рибавирина для оздоровления картофеля *in vitro* могут успешно уничтожать большинство распространенных вирусов картофеля, таких как PVY, PVS, PVA, PVX, PVM, но отмечено, что PLRV более устойчив по сравнению с другими вирусами (Gong et al., 2019). В связи с этим представляет интерес применение природных ингибиторов, которые, возможно, не оказывают фитотоксическое действие на растения. Морские водоросли богаты разнообразными соединениями, такими как липиды, белки, углеводы, фитогормоны, аминокислоты, противомикробные соединения и минералы. Их потенциал для сельскохозяйственного применения используется с древних времен и по настоящее время. Преимущества применения морских водорослей в сельскохозяйственной деятельности многочисленны и разнообразны. Это стимуляция прорастания семян, роста и развития растений (удлинение побегов и корней, улучшение поглощения воды и питательных веществ), морозо- и солеустойчивость, устойчивость к фитопатогенным организмам (Yermak, Khomchenko, 2003; Titlyanov, Titlyanova, 2012). Морские водоросли представляют собой недостаточно изученный источник самых разнообразных веществ, обладающих различными биологическими функциями. С 1990-х годов были выделены тысячи новых соединений и их метаболитов с различной биологической активностью – от противоопухолевой до противовирусной (Yermak, Khomchenko, 2003; Titlyanov, Titlyanova, 2012). Одними из основных полисахаридов клеточных стенок красных водорослей, которые состав-

ляют органическое вещество растения, считаются сульфатированные полисахариды: агары и каррагинаны. Каррагинаны – семейство сульфатированных гидроколлоидов, которые построены из галактозы и ее производных. Они разделяются по местоположению и количественному составу сульфатных групп в моносахаридах, а также присутствию 3,6-ангидрогалактозы на желеобразующие типы (обозначенные как каппа-, йота-, бета-) и нежелирующие (лямбда-) каррагинаны (Yermak, Khomchenko, 2003). Каррагинаны были найдены в водорослях из семейств Solieriaceae, Tichocarpaceae, Gigartnaceae, Rhodophyllidaceae, Hypneaceae, Phyllophoraceae, Caulacanthaceae, Rhabdoniaceae, Cystocloniaceae, Furcellariaceae, Petrocelidaceae, Dicranemataceae. Очень много каррагинанов найдено у представителей родов *Betaphycus* Doty, *Gigartina* Stackhouse, *Ahnfeltia* E.M. Fries, *Chondracanthus* Kützing, *Mastocarpus* Kützing, *Callophyllis* Kützing, *Hypnea* J.V. Lamouroux, *Chondrus* Stackhouse, *Eucheuma* J. Agardh, *Kappaphycus* Doty (Barabanova et al., 2010). Благодаря биосовместимости, доступности и широкому спектру биологической активности, сульфатированные галактаны красных водорослей представляют интерес как потенциальные противовирусные средства.

Цель исследований – изучить влияние природного и синтетического ингибиторов вирусов на примере каррагинана и рибавирина при оздоровлении картофеля в культуре *in vitro* и провести сравнительный анализ их эффективности.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали клубни перспективных сортов картофеля ‘Посейдон’ и ‘Орион’ селекции Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, коммерческий противовирусный препарат «Рибавирин» (ООО «Озон», Россия), сульфатированный полисахарид – каррагинан (разработка Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, г. Владивосток) (Yermak et al., 2014).

Эксперимент по оздоровлению картофеля проведен методом химиотерапии с добавлением в питательную среду ингибиторов вирусов – рибавирина (0,03%) и каррагинана (0,1%). Анализ проводили в 120 биологических и трех аналитических повторностях.

Для идентификации вирусов в листьях и клубнях картофеля исходных образцов применяли метод ПЦР. Применение ПЦР-анализа регламентировано в соответствии с ГОСТ Р 59551-2021 «Картофель семенной. Отбор проб и методы диагностики патогенов» (GOST R 59551-2021…, 2021) для начальных этапов воспроизводства и полевого клонирования исходного материала.

Проростки исходных клубней (клонов) и микрорастения тестировали на скрытую зараженность вирусами методом ПЦР в реальном времени в лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур. Тотальную РНК выделяли коммерческими наборами для выделения нуклеиновых кислот из растительного материала «ФитоСорб» (Синтол) с использованием магнитных частиц на автоматической станции выделения KingFisher Flex (ThermoScientific). Эффективность выделения определяли методом электрофореза в 1,0-процентном агарозном геле, окрашенном бромистым этидием, с последующей визуализацией облучением ультрафиолетом в гель-документирующей системе GelDoc Go (BioRad). Наличие/отсутствие фитовирусов в пробах диагностировали одношаговой ПЦР с обратной транскрипцией с флуоресцентной детекцией на амплификаторе QuantStudio 5 (Applied Biosystems) с использованием коммерческих наборов серии «Фитоскрин» «Potato Virus X. Y. M. L. S. A – РВ» (Синтол), предназначенных для выявления вирусов PVX, PVY, PVM, PLRV, PVS, PVA. Обнаружение вирусов проводили путем нарастания сигнала флуоресценции специфического флуоресцентного зонда, который нацелен на определение кДНК вируса в результате ПЦР (Ryabushkina et al., 2012).

Введение в культуру in vitro. Для проведения работ по оздоровлению от вирусной инфекции сортов картофеля в качестве первичных эксплантов использовали апексы размером 2,0–4,0 мм, выделенные из этиолированных проростков клубней. Количество исследуемых эксплантов – 88 штук. Введение растительного материала в культуру *in vitro*, диагностику патогенов в растительном материале проводили в соответствии с методическими указаниями (Dunaeva et al., 2017).

Подготовку материалов, среды выполняли согласно методическим рекомендациям (Oves et al., 2017). Питательную среду для культивирования растений картофеля готовили с минеральной основой по Мурасиге – Скугу (MS) в модификации (Barsukova et al., 2018). Операции по инокуляции и пассированию эксплантов, а также микроклонирование пробирочных растений картофеля проводили в стерильных условиях ламинар-бокса (БАВнп-01-«Ламинар-С»)-1,5 (VIS-A-VIS).

Введенные в культуру *in vitro* апикальные экспланты культивировали на питательной среде MS без фитогормонов, содержащей антивирусные вещества – рибавирин и каррагинан. В исследованиях рибавирин применяли в концентрации 30 мг/л, каррагинан – в виде смеси каппа и лямбда (соотношение 70 : 30) – добавляли в количестве 1,0 г/л питательной среды.

Приготовление питательной среды с рибавирином. Модифицированную агаризованную питательную среду Мурасиге – Скуга (MS) (Barsukova et al., 2018) автоклавировали при 0,9 атм в течение 20 мин (120°С), затем в охлажденную до 40°С добавляли раствор рибавирина, приготовленный следующим образом:

– одну капсулу противовирусного средства «Рибавирин» с активным веществом рибавирин – 200 мг в асептических условиях ламинар-бокса растворяли в 65 мл бидистиллированной воды;

– стерилизовали методом фильтрования растворов через стерильные микроскопические фильтры с диаметром пор 0,22–0,45 мкм, задерживающие вирусы и бактерии;

– для получения 1 л питательной среды с рибавирином в концентрации 30 мг/л от полученного раствора отбирали 10 мл профильтрованной жидкости, добавляя в основную питательную среду, и тщательно перемешивали;

– приготовленную питательную среду разливали в пустые проавтоклавированные биологические пробирки размером 150 × 16 мм по 5 мл в каждую, закрывая одноразовыми стерильными ватными пробками;

– штативы с пробирками выдерживали в темном месте 2–3 дня, для того чтобы убедиться в ее стерильности, и затем уже использовали для введения биоматериала.

Технология приготовления агаризованной питательной среды с добавлением рибавирина представлена на рисунке 1.

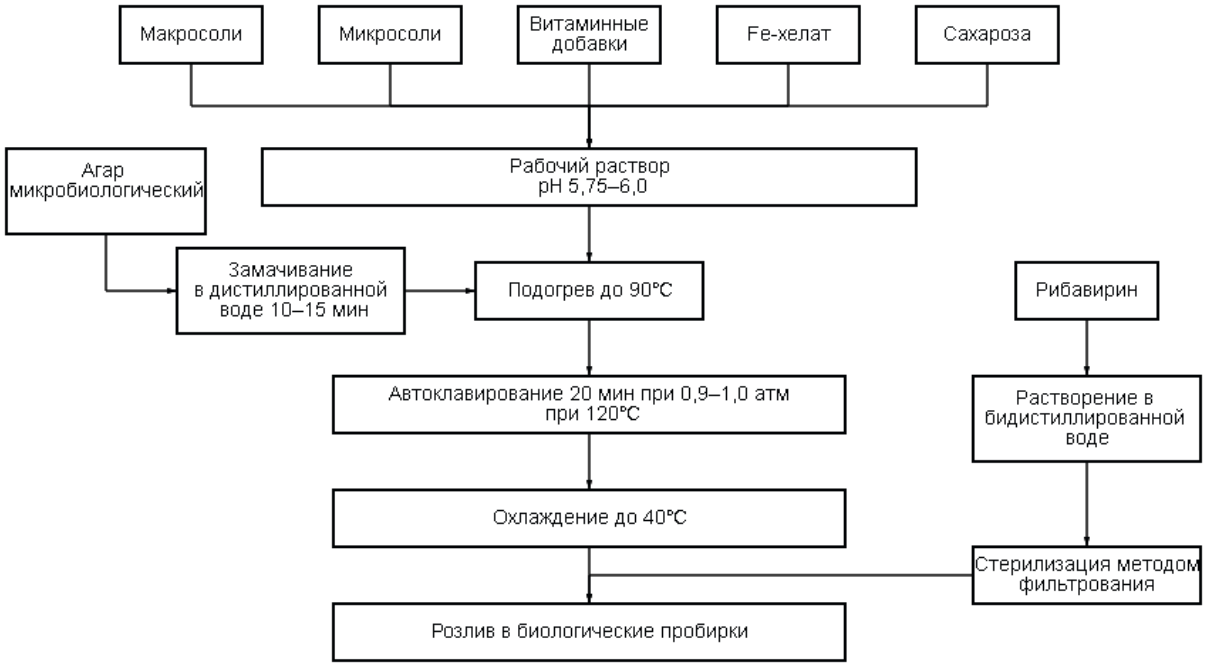


Рис. 1. Схема приготовления агаризованной питательной среды (MS) с добавлением рибавирина

Fig. 1. Scheme for preparing the agar medium (MS) supplemented with Ribavirin

Приготовление питательной среды с каррагинаном. Для эксперимента питательную среду готовили поэтапно (рис. 2):

– по прописи Мурасиге – Скуга готовили безгормональную агаризованную питательную среду (MS) объемом 1 литр, уменьшая количество агара с 6 до 5 г;

– каррагинан в количестве 1 г растворяли в 100 мл дистиллированной воды, а затем медленно подогревали на водяной бане до 40°С;

– подготовленный раствор каррагинана добавляли в основную питательную среду, медленно подогревая и постоянно помешивая, не доводя до кипения;

– разливали питательную среду в биологические пробирки размером 150 × 16 мм по 5 мл в каждую, закрывая одноразовыми стерильными ватными пробками;

– автоклавирование осуществляли при 0,9 атм в течение 20 мин (120°С).

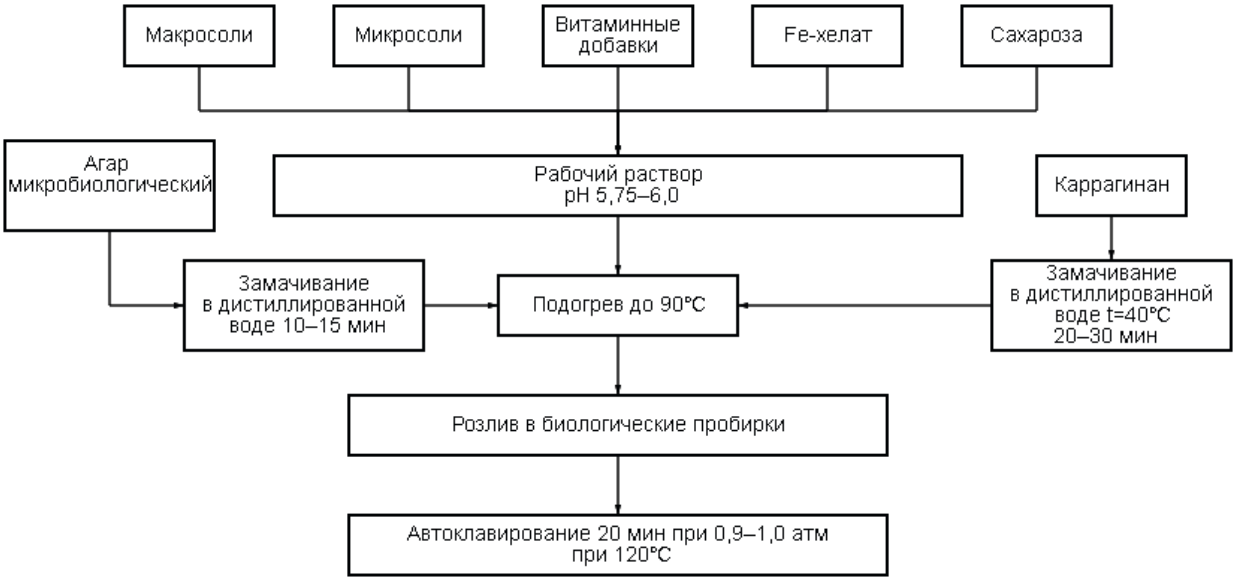


Рис. 2. Схема приготовления агаризованной питательной среды (MS) с добавлением каррагинана

Fig. 2. Scheme for preparing the agar medium (MS) supplemented with carrageenan

Выращивание апикальных изолятов картофеля осуществляли в культуральной комнате на фитостеллажах со светодиодным освещением серии X-bright Fito (ООО «ЭЛСИС БелГУ») при освещенности 4,5–5,0 клк, температуре +22 ± 3°С, 16-часовом световом дне, влажности воздуха 60–70%. Условия и длительность культивирования эксплантов в обоих экспериментах – 100 суток.

Для проверки достоверности полученных результатов использовали статистические программы MS Excel 2007 и Statistica 8 (StatSoft Inc., США), рассчитывали средние (M) и t0,05½SEM.

Результаты и обсуждение

По результатам диагностической оценки для оздоровления перспективных сортов картофеля ‘Орион’ и ‘Посейдон’ были отобраны клоны со смешанными вирусными инфекциями – PVY, PVS, PVM и PLRV (табл. 1).

Таким образом, эффективность оздоровления от вирусов методом химиотерапии с применением рибавирина (0,03%) составила: PVY – 79,8%, PLRV – 77,0%, PVM – 80,3%, PVS – 84,5%. Следует отметить, что наиболее успешно при использовании этого метода поддались элиминации вирусы PVY, PVM и PVS.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой противовирусной эффективности рибавирина, что подтверждает его широкое применение в биотехнологии для освобождения сортов картофеля от вирусной инфекции.

Природный ингибитор вирусов – каррагинан. В качестве противовирусного препарата в оздоровлении растений картофеля в культуре *in vitro* использовали так называемый нефракционированный полисахарид с молекулярной массой 185 кДа, выделенный из водорослей *Chondrus armatus* Harvey (Yermak, Khomchenko, 2003) и представляющий собой смесь каппа- и лямбда-каррагинанов в соотношении 70 : 30 (в/в). Как было показано нами ранее, этот полисахарид проявлял наибольшую вирулицидную активность, оказывая непосредственное воздействие на вирус простого герпеса (Krylova et al., 2022), что объясняется структурными особенностями и физико-химическими свойствами составляющих его типов карра-

Таблица 1. Результаты ПЦР-анализа отобранных для оздоровления клонов картофеля сортов ‘Орион’ и ‘Посейдон’

Table 2. Results of the PCR analysis of the potato clones (cvs. ‘Orion’ and ‘Poseidon’) selected for virus elimination

Сорт	Наличие/отсутствие вирусов					
	PVX	PVY	PVA	PVS	PVM	PLRV
Орион	–	+	–	+	+	+
Посейдон	–	+	–	+	+	+

Примечание: (–) – вирус не обнаружен; (+) – вирус обнаружен

Note: (–) – the virus was not found; (+) – the virus was found

Синтетический ингибитор вирусов – рибавирин. Исходя из результатов тестирования 40 микрорастений *in vitro* двух сортов картофеля – ‘Орион’ и ‘Посейдон’, было установлено, что при химиотерапии с рибавирином в концентрации 30 мг/л в течение 100 суток (два субкультивирования) у обоих сортов выявлены оздоровленные от вирусов клоны (табл. 2).

Таблица 2. Оценка противовирусной эффективности рибавирина (0,03%) при оздоровлении микрорастений картофеля *in vitro*

Table 2. Assessment of the antiviral efficacy of Ribavirin (0.03 %) in the elimination of viruses in potato plantlets *in vitro*

Сорт	Количество введенных апексов, шт.	Количество асептических апексов *in vitro*, шт.	Получено оздоровленных клонов							
			без вируса PVY		без вируса PLRV		без вируса PVM		без вируса PVS	
			шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
‘Орион’	21	18	14	77,8 ± 1,3	13	72,2 ± 0,9	15	83,3 ± 1,1	15	83,3 ± 0,9
‘Посейдон’	24	22	18	81,8 ± 0,9	18	81,8 ± 1,3	17	77,3 ± 0,9	19	86,4 ± 1,2
Всего:	45	40	32	79,8 ± 1,1	31	77,0 ± 1,5	32	80,3 ± 1,5	28	84,5 ± 1,7

гинанов. Добавление каррагинана в количестве 1,0 г/л среды и уменьшение количества агара с 6,0 г/л до 5,0 г/л не повлияло на прочность питательной среды за счет того, что каррагинаны характеризуются способностью формировать растворы вязкой консистенции и стабильные гели (Yermak, Khomchenko, 2003).

Продолжительность противовирусной терапии на среде с каррагинаном составила 100 дней (два субкультивирования). Все микрорастения из каждой пробирки диагностировались на наличие вирусной инфекции. В таблице 3 представлены результаты оздоровления сортов картофеля 'Орион' и 'Посейдон' с использованием каррагинана через 100 суток применения противовирусной терапии.

Таблица 3. Оценка противовирусной эффективности каррагинана (0,1%) при оздоровлении микрорастений картофеля *in vitro*

Table 3. Assessment of the antiviral efficacy of carrageenan (0.1%) in the elimination of viruses in potato plantlets *in vitro*

Сорт	Количество введенных апексов, шт.	Количество асептических апексов *in vitro*, шт.	Получено оздоровленных клонов							
			без вируса PVY		без вируса PLRV		без вируса PVM		без вируса PVS	
			шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
'Орион'	20	18	2	11,1 ± 0,2	13	72,2 ± 1,0	13	72,2 ± 1,1	11	61,1 ± 1,3
'Посейдон'	23	22	5	22,7 ± 0,3	17	77,3 ± 1,2	15	68,2 ± 0,8	17	77,3 ± 2,0
Всего:	43	40	7	16,9 ± 0,1	30	74,7 ± 0,9	28	70,2 ± 1,3	28	69,2 ± 0,7

ПЦР-анализ подтвердил отсутствие вирусных инфекций через 100 суток культивирования микрорастений картофеля на среде с каррагинаном. Применение каррагинана как противовирусного вещества в процессе оздоровления позволило освободить от вируса PLRV 74,7% эксплантов, PVM – 70,2%, PVS – 69,2%, PVY – 16,9%. Таким образом, исследование противовирусной активности природного полисахарида каррагинана показало его высокое ингибирующее действие на вирусы PVS, PVM, PLRV. Низкий результат по освобождению микрорастений картофеля от вирусов отмечен в отношении PVY (16,9%). На основании проведенных исследований разработан «Способ оздоровления картофеля от вирусных инфекций *in vitro*» (Shishchenko et al., 2023).

Исследователями Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН впервые была показана активность отдельных типов каррагинанов относительно вирусов, поражающих растения. Наибольшую антивирусную активность проявляли желирующие типы каррагинанов. Показано действие каппа-/бета-каррагинана из дальневосточной красной водоросли *Tichocarpus crinitus* Gmelin на вирус табачной мозаики (Reunov et al., 2004). Активность каррагинанов зависит не только от их типа, но и от молекулярной массы (Ermak et al., 2013). С уменьшением молекулярной массы каррагинана его эффективность в борьбе с фитопатогенами уменьшалась (Kalitnik et al., 2013). Установлено, что максимальное ингибирующее воздействие в опытах *in vivo* на культуре клеток Vero E6 оказал лямбда-каррагинан при пониженной дозировке. Антивирусная активность каппа-каррагинана увеличивалась по мере роста концентрации полисахарида. Это, скорее всего, обусловлено особенностью образовывать волокнисто-сетчатую структуру, которая способствует обволакиванию патогена и его уничтожению (Maksema et al., 2012). Недавно установлена высокая противовирусная активность разных типов каррагинанов, выделенных из красных водорослей дальневосточных морей, против вирусов герпеса человека. Все образцы обладали выраженной противовирусной активностью, проявляя различную эффективность на разных стадиях жизненного цикла вируса. При этом наибольшую вирулицидную активность проявлял каррагинан, состоящий из двух типов – каппа- и лямбда-каррагинанов (Krylova et al., 2022). Полученные результаты позволяют рассматривать каррагинаны как перспективные противовирусные соединения широкого спектра действия.

Сравнительный анализ эффективности синтетического и природного ингибиторов вирусов. Процесс освобождения двух сортов картофеля 'Орион' и 'Посейдон' проведен методом химиотерапии с применением в качестве антивирусных соединений рибавирина и каррагинана.

Микрорастения картофеля, оздоровленные двумя способами – с применением рибавирина и каррагинана, по своим морфологическим признакам не различались между собой. Исходя из проведенного после процесса оздоровления тестирования, установлено, что при применении рибавирина процент оздоровления от вирусной инфекции составил от 74,7 до 84,5%, каррагинана – от 16,9 до 77,0% (табл. 4).

На рисунке 3 представлены сравнительные результаты ПЦР-анализа оздоровленных микрорастений картофеля после проведения антивирусной химиотерапии с использованием рибавирина и каррагинана.

Таблица 4. Противовирусная эффективность рибавирина и каррагинана на микрорастениях картофеля *in vitro* сортов 'Посейдон' и 'Орион'

Table 4. Antiviral efficacy of Ribavirin and carrageenan tested *in vitro* on potato plantlets of cvs. 'Poseidon' and 'Orion'

Антивирусные препараты	Получено оздоровленных микрорастений, %			
	PVY	PLRV	PVM	PVS
рибавирин	79,8 ± 1,3	80,3 ± 1,6	74,7 ± 1,1	84,5 ± 1,6
каррагинан	16,9 ± 0,6	77,0 ± 1,4	70,2 ± 1,2	69,2 ± 1,3

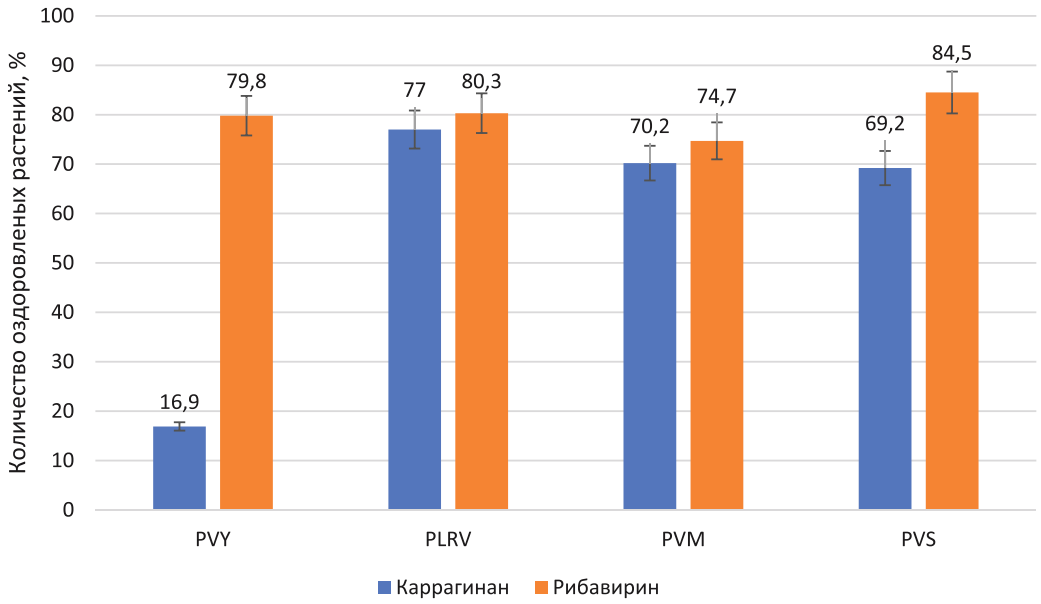


Рис. 3. Частота (%) оздоровленных микрорастений после химиотерапии с использованием рибавирина и каррагинана

Fig. 3. Rates (%) of virus-free plantlets after the chemotherapy with Ribavirin and carrageenan

Проведенные исследования доказали, что эффективность оздоровления картофеля методом химиотерапии с применением синтетического препарата (рибавирина) оказалась выше, чем с применением природного полисахарида (каррагинана). Однако в случае множественной вирусной инфекции, как это было показано для обоих сортов картофеля, оба препарата показали высокие результаты.

Заключение

Исследование противовирусной активности природного и синтетического ингибиторов вирусов на примере каррагинана и рибавирина экспериментально доказало их отчетливо выраженное противовирусное действие. Применение в области сельскохозяйственной биотехнологии природных полисахаридов – каррагинанов – перспективно для дальнейших исследований.

В результате эксперимента оздоровлены два перспективных сорта картофеля 'Орион' и 'Посейдон' селекции Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, которые включены в систему безвирусного семеноводства научного центра. По данным сортам поданы заявки в Государственную комиссию Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений на выдачу патентов и допуск к использованию по Дальневосточному региону.

References / Литература

Ali M.A., Nasiruddin K.M., Haque M.S., Faisal S.M. Virus elimination in potato through meristem culture followed by thermotherapy. *SAARC Journal of Agriculture*. 2014;11(1):71-80. DOI: 10.3329/sja.v11i1.18376

Antonova O.Yu., Apalikova O.V., Ukhatova Yu.V., Krylova E.A., Shuvalov O.Yu., Shuvalova A.R et al. Eradication of viruses in microplants of three cultivated potato species (*Solanum tuberosum* L., *S. phureja* Juz. & Buk., *S. stenotomum* Juz. & Buk.) using combined thermo-chemotherapy method. *Agricultural Biology*. 2017;52(1):95-104. [in Russian] (Антонова О.Ю., Апаликова О.В., Ухатова Ю.В., Крылова Е.А., Шувалов О.Ю., Шувалова А.Р. и др. Оздоровление микрорастений трех культурных видов картофеля (*Solanum tuberosum* L., S. *phureja* Juz. & Buk. и *S. stenotomum* Juz. & Buk.) от вирусов методом комбинированной термо-химиотерапии. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(1):95-104). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.1.95rus

Barabanova A.O., Tishchenko I.P., Glazunov V.P., Solovyeva T.F., Yermak I.M., Yakovleva I.M. et al. Chemical composition of polysaccharides of the red alga *Tichocarpus crinitus* (Tichocarpaceae) from different sites of Peter the Great Bay, Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology*. 2010;36(3):195-200. DOI: 10.1134/S1063074010030053

Barsukova E.N., Kim I.V., Chekushkina T.N.. Improvement and *in vitro* micropropagation of potato varieties for disease-free seed growing. *Far East Agrarian Bulletin*. 2018;4(48):20-26. [in Russian] (Барсукова Е.Н., Ким И.В., Чекушкина Т.Н. Оздоровление и микроразмножение *in vitro* сортов картофеля для безвирусного семеноводства. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2018;4(48):20-26). DOI: 10.24411/1999-6837-2018-14076

Danci O., Erdei L., Vidács L., Danci M. Baciu A., David I. et al. Influence of ribavirin on potato plants regeneration and virus eradication. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*. 2009;13:421-425.

De Morais T.P., Asmar S.A., Silva H.F.J., Luz J.M.Q., de Melo B. Application of tissue culture techniques in potato. *Bioscience Journal*. 2018;34(4):952-969. DOI: 10.14393/bj-v34n1a2018-38775

Dunaeva S.E., Pendinen G.I., Antonova O.Yu., Shvachko N.A., Ukhatova Yu.V., Shuvalova L.E., Volkova N.N., Gavrilenko T.A. Preservation of vegetatively propagated crops *in vitro* and cryo collections: methodological guidelines (Sokhraneniye vegetativno razmnozhayemykh kultur v in-vitro- i kriokollektsiyakh: metodicheskiye ukazaniya). T.A. Gavrilenko (ed.). 2nd ed. St. Petersburg: VIR; 2017. [in Russian] (Дунаева С.Е., Пендинен Г.И., Антонова О.Ю., Швачко Н.А., Ухатова Ю.В., Шувалова Л.Е., Волкова Н.Н., Гавриленко Т.А. Сохранение вегетативно размножаемых культур в *in-vitro*- и криоколлекциях: методические указания / под ред. Т.А. Гавриленко. 2-е изд. Санкт-Петербург: ВИР; 2017).

Ermak I.M., Reunov A.V., Lapshina L.A., Byankina A.O., Bratskaya S.Yu., Sokolova E.V. Physicochemical and electron-microscopic study of carrageenans, sulfated polysaccharides from red algae of the families Tichocarpaceae and Gigartinaceae. *Chemistry of Natural Compounds*. 2013;49(4):593-595. DOI: 10.1007/s10600-013-0686-x

Gong H., Igiraneza C., Dusengemungu L. Major *in vitro* techniques for potato virus elimination and post eradication detection methods: a review. *American Journal of Potato Research*. 2019;96(5):379-389. DOI: 10.1007/ s12230-019-09720- z

GOST R 59551-2021. National standard of the Russian Federation. Seed potatoes. Sampling and methods of diagnostics of phytopathogens. Moscow: Standartinform; 2021. [in Russian] (ГОСТ Р 59551-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Картофель семенной. Отбор проб и методы диагностики фитопатогенов. Москва: Стандартинформ; 2021). URL: https://docs.cntd.ru/document/1200179850 [дата обращения: 01.12.2023].

Kalitnik A.A., Byankina Barabanova A.O., Nagorskaya V.P., Reunov A.V., Glazunov V.P., Solov'eva T.F. et al. Low molecular weight derivatives of different carrageenan types and their antiviral activity. *Journal of Applied Phycology*. 2013;25(1):65-72. DOI: 10.1007/s10811-012-9839-8

Kim I.V., Chibizova A.S., Shischenko E.V., Fisenko P.V., Chekushkina T.N., Barsukova E.N. et al. Methods of biotechnology in the improvement of promising potato hybrids (*Solanum tuberosum* L.). *Research on Crops*. 2021;22:96-99. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.023

Kim I.V., Shishchenko E.V., Fisenko P.V., Chibizova A.S., Klykov A.G. Biotechnology methods in virus-free potato seed production. *Vegetable Crops of Russia*. 2022;(5):29-34. [in Russian] (Ким И.В., Шищенко Е.В., Фисенко П.В., Чибизова А.С., Клыков А.Г. Применение методов биотехнологии в безвирусном семеноводстве картофеля. *Овощи России*. 2022;(5):29-34). DOI: 10.18619/2072-9146-2022-5-29-34

Krylova N.V., Kravchenko A.O., Iunikhina O.V., Pott A.B., Likhatskaya G.N, Volod'ko A.V. et al. Influence of the structural features of carrageenans from red algae of the Far Eastern seas on their antiviral properties. *Marine Drugs*. 2022;20(1):60. DOI: 10.3390/md20010060

Makarova S.S., Makarov V.V., Taliansky M.S., Kalinina N.O. Resistance to viruses of potato: current status and prospects. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(1):62-73. [in Russian] (Макарова С.С., Макаров В.В., Тальянский М.Э., Калинина Н.О. Устойчивость картофеля к вирусам: современное состояние и перспективы. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(1):62-73). DOI: 10.18699/VJ17/224

Maksema I.G., Kompanets G.G., Barabanova A.O., Ermak I.M., Slonova R.A. Antiviral action of red algae-derived carrageenans in case of experimental hunt virus infection. *Pacific Medical Journal*. 2012;1(47):32-34. [in Russian] (Максема И.Г., Компанец Г.Г., Барабанова А.О., Ермак И.М., Слонова Р.А. Противовирусное действие каррагинанов из красной водоросли при экспериментальной хантавирусной инфекции. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2012;1(47):32-34).

Malko A.M., Nikolaev Yu.N., Govorov D.N., Makarova V.S., Melnikova M.I., Anisimov B.V., Simakov E.A., Zhevora S.V., Oves E.V., Zebrin S.N., Zeyruk V.N., Mityushkin A.V., Uskov A.I., Yurlova S.M., Zhuravlev A.A., Chugunov V.S. Technological process of the production of breeders', elite, and reproductive seed potatoes. Practical guidebook (Tekhnologicheskiy protsess proizvodstva originalnogo, elitnogo i reproduktsionnogo semennogo kartofelya. Prakticheskoye rukovodstvo). Moscow: Pravo; 2017. [in Russian] (Малько А.М., Николаев Ю.Н., Говоров Д.Н., Макарова В.С., Мельникова М.И., Анисимов Б.В., Симаков Е.А., Жевора С.В., Овэс Е.В., Зебрин С.Н., Зейрук В.Н., Митюшкин А.В., Усков А.И., Юрлова С.М., Журавлев А.А., Чугунов В.С. Технологический процесс производства оригинального, элитного и репродукционного семенного картофеля. Практическое руководство. Москва: Право; 2017).

Oves E.V., Anisimov B.V., Uskov A.I., Simakov E.A., Zhevora S.V., Boiko V.V., Gaitova N.A., Fenina N.A., Shmyglya I.V. Guidelines for *in vitro* multiplication of material for the production of breeders' seed potatoes (Metodicheskiye rekomendatsii po tirazhirovaniyu *in vitro* materiala dlya originalnogo semenovodstva kartofelya). Moscow: VNIIKKh; 2017. [in Russian] (Овэс Е.В., Анисимов Б.В., Усков А.И., Симаков Е.А., Жевора С.В., Бойко В.В., Гаитова Н.А., Фенина Н.А., Шмыгля И.В. Методические рекомендации по тиражированию *in vitro* материала для оригинального семеноводства картофеля. Москва: ВНИИКХ; 2017).

Reunov A., Nagorskaya V., Lapshina L., Yermak I., Barabanova A. Effect of *κ/β*-carrageenan from red alga *Tichocarpus crinitus* (Tichocarpaceae) on infection of detached tobacco leaves with tobacco mosaic virus. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 2004;111:165-172.

Rogozina E.V., Gurina A.A. Distribution of potato mosaic viruses on plants of the *Petota* Dumort. section of *Solanum* L. in the VIR collection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(2):226-234. [in Russian] (Рогозина Е.В., Гурина А.А. Распространение мозаичных вирусов картофеля на видах секции *Petota* Dumort. рода *Solanum* L. в коллекции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(2):226-234). DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-226-234

Ryabtseva T.V., Kulikova V.I., Ilkevich O.G. Improvement of potatoes by the chemotherapy method in culture of *in vitro*. *International Research Journal*. 2015;10(41):66-67. [in Russian] (Рябцева Т.В., Куликова В.И., Илькевич О.Г. Оздоровление картофеля методом химиотерапии в культуре *in vitro*. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015;10(41):66-67). DOI: 10.18454/IRJ.2015.41.127

Ryabushkina N.A., Omasheva M.E., Galiakparov N.N. Specific features of DNA extraction from plant objects (Spetsifika vydeleniya DNK iz rastitelnykh obyektov). *Biotechnology. Theory and Practice*. 2012;(2):9-26. [in Russian] (Рябушкина Н.А., Омашева М.Е., Галиакпаров Н.Н. Специфика выделения ДНК из растительных объектов. *Биотехнология. Теория и практика*. 2012;(2):9-26). DOI: 10.11134/btp.2.2012.1

Shahzad A., Sharma S., Parveen S., Saeed T., Shaheen A., Akhtar R. et al. Historical perspective and basic principles of plant tissue culture. In: M.Z. Abdin, U. Kiran, M. Kamaluddin, A. Ali (eds). *Plant Biotechnology: Principles and Applications*. Singapore: Springer; 2017. p.1-36. DOI: 10.1007/978-981-10-2961-5_1

Sharipova M.R., Balaban N.P., Mardanova A.M., Nyamsuren Ch., Valeeva L.R. Mechanisms of plant resistance to infections (Mekhanizmy ustoychivosti rasteniy k infektsiyam). *Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series*. 2013;155(4):28-58. [in Russian] (Шарипова М.Р., Балабан Н.П., Марданова А.М., Нямсурэн Ч., Валеева Л.Р. Механизмы устойчивости растений к инфекциям. *Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки*. 2013;155(4):28-58).

Shishchenko E.V., Chibizova A.S., Sobko O.A., Barsukova E.N., Kim I.V., Klykov A.G., Kravchenko A.O., Ermak I.M. Method for eliminating viral infections in potato *in vitro* (Sposob ozdorovleniya kartofelya ot virusnykh infektsiy *in vitro*). Russian Federation; patent number: RU2805356C1; 2023. [in Russian] (Шищенко Е.В., Чибизова А.С., Собко О.А., Барсукова Е.Н., Ким И.В., Клыков А.Г., Кравченко А.О., Ермак И.М. Способ оздоровления картофеля от вирусных инфекций *in vitro*. Российская Федерация; патент № RU2805356C1; 2023).

Sobko O.A., Fisenko P.V., Kim I.V. Plant viruses in the system of seed potato production. *Vegetable Crops of Russia*. 2024;(1):74-80. DOI: 10.18619/2072-9146-2024-1-74-80

Titlyanov E.A., Titlyanova T.V. Marine plants of the Asian-Pacific region, their use and cultivation (Morskiye rasteniya stran Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona, ikh ispolzovaniye i kultivirovaniye). Vladivostok: Dalnauka; 2012. [in Russian] (Титлянов Э.А., Титлянова Т.В. Морские растения стран Азиатско-Тихоокеанского региона, их использование и культивирование. Владивосток: Дальнаука; 2012).

Ukhatova Y.V., Antonova O.Y., Gavrilenko T.A. Eradication of potato leafroll virus in Chilean samples of *Solanum tuberosum* using cryotherapy and complex chemo- and thermotherapies. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2016;30(10):56-60. [in Russian] (Ухатова Ю.В., Антонова О.Ю., Гавриленко Т.А. Оздоровление от вируса скручивания листьев картофеля чилийских образцов *Solanum tuberosum* с использованием методов криотерапии и комплексной химио-, термотерапии. *Достижения науки и техники АПК*. 2016;30(10):56-60).

Venkatasalam E.P., Sood R., Pandey K.K., Thakur V., Sharma A.K., Singh B.P. Development of low cost technology for *in vitro* mass multiplication of potato (*Solanum tuberosum* L.). *African Journal of Agricultural Research*. 2013;8(49):6375-6382. DOI: 10.5897/AJAR2013.7155

Wang M.R., Cui Z.H., Li J.W., Hao X.Y., Zhao L., Wang Q.C. *In vitro* thermotherapy based methods for plant virus eradication. *Plant Methods*. 2018;14:87. DOI: 10.1186/s13007-018-0355-y

Waswa M., Kakuhenzire R., Ochwo-Ssemakula M. Effect of thermotherapy duration, virus type and cultivar interactions on elimination of potato viruses X and S in infected seed stocks. *African Journal of Plant Science*. 2017;11(3):61-70. DOI: 10.5897/AJPS2016.1497

Yermak I.M., Byankina (Barabanova) A.O., Sokolova E.V. Structural peculiarities and biological activity of carrageenans – sulphated polysaccharides from red algae collected from the Russian Pacific coast. *Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences*. 2014;1(173):80-92. [in Russian] (Ермак И.М., Бянкина (Барабанова) А.О., Соколова Е.В. Структурные особенности и биологическая активность каррагинанов – сульфатированных полисахаридов красных водорослей дальневосточных морей России. *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2014;1(173):80-92).

Yermak I.M., Khomchenko Y.S. Chemical properties, biological activities and applications of carrageenan from red algae. In: M. Fingerman, R. Nagabhushanam (eds). *Recent Advances in Marine Biotechnology*. *Vol. 9: Biomaterials and Bioprocessing*. Boca Raton, FL: CRC Press; 2003. p.207-255.

Yuorieva N.O., Voronkova E.V., Tereshonok D.V., Meleshin A.A., Meleshina O.V., Belyaev D.V. Potato dihaploid introduction into aseptic culture using adventive shoots and chemotherapy. *Zashchita kartofelya = Potato Protection*. 2017;(2):23-27. [in Russian] (Юрьева Н.О., Воронкова Е.В., Терешонок Д.В., Мелешин А.А., Мелешина О.В., Беляев Д.В. Введение в асептическую культуру дигаплоидов картофеля с использованием адвентивных побегов и химиотерапии. *Защита картофеля*. 2017;(2):23-27).

Информация об авторах

Елена Васильевна Шищенко, аспирант, младший научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, chagovec75@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1204-0515

Ирина Вячеславовна Ким, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, kimira-80@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-0656-0645

Елена Николаевна Барсукова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, enbar9@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-7880-252X

Ирина Михайловна Ермак, доктор химических наук, главный научный сотрудник, Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова Дальневосточного отделения Российской академии наук, 690022 Россия, Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159, imyer@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-3641-5681

Анна Олеговна Кравченко, кандидат химических наук, научный сотрудник Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова Дальневосточного отделения Российской академии наук, 690022 Россия, Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159, kravchenko25.89@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1977-8181

Алексей Григорьевич Клыков, доктор биологических наук, академик РАН, заведующий отделом, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, alex.klykov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2390-3486

Information about the authors

Elena V. Shishchenko, Postgraduate Student, Associate Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settlem., Ussuriysk 692539, Russia, chagovec75@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1204-0515

Irina V. Kim, Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settlem., Ussuriysk 692539, Russia, kimira-80@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-0656-0645

Elena N. Barsukova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settlem., Ussuriysk 692539, Russia, enbar9@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-7880-252X

Irina M. Yermak, Dr. Sci. (Chemistry), Chief Researcher, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 100-letiya Vladivostoka Ave., Vladivostok 690022, Russia, imyer@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-3641-5681

Anna O. Kravchenko, Cand. Sci. (Chemistry), Researcher, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 100-letiya Vladivostoka Ave., Vladivostok 690022, Russia, kravchenko25.89@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1977-8181

Alexey G. Klykov, Dr. Sci. (Biology), Academician, Full Member of the RAS, Head of a Department, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settlem., Ussuriysk 692539, Russia, alex.klykov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2390-3486

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.02.2024; одобрена после рецензирования 17.06.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 28.02.2024; approved after reviewing on 17.06.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ

Научная статья
УДК 633.81:577.113.083
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-191-198

CC BY

Оптимизация методики выделения ДНК для изучения генетического разнообразия эфиромасличных роз (*Rosa* L.)

С. Б. Сейтаджиева[1], С. З. Гучетль[2], С. В. Дидович[1], Е. В. Городняя[3]

[1] *Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия*

[2] *Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта, Краснодар, Россия*

[3] *Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия*

Автор, ответственный за переписку: Севиля Бахтияровна Сейтаджиева, cepen@mail.ru

Актуальность. Эфиромасличные розы содержат большое количество органических веществ, ухудшающих очистку ДНК при выделении. Для связывания этих соединений во многих протоколах экстракции ДНК используют токсичные вещества (фенол, меркаптоэтанол). В связи с этим целесообразно оптимизировать методику выделения ДНК из эфиромасличных роз.
Материал и методы. В работе использовались образцы роз из Ботанического сада Крымского федерального университета, а также образцы из коллекции эфиромасличных роз селекционно-семеноводческого центра эфиромасличных культур НИИСХ Крыма. Выделение ДНК проводилось по модифицированному CTAB-протоколу. Эффективность методики оценивалась методами спектрофотометрии, горизонтального электрофореза и постановкой ISSR-ПЦР.
Результаты. Препараты ДНК, выделенные модифицированным методом, хорошо визуализируются на электрофореграмме и имеют высокие спектрофотометрические показатели. Содержание ДНК в два раза выше в препаратах, полученных с использованием буфера для экстракции с ПВП, по сравнению с буфером без ПВП. Также концентрация выше в препаратах ДНК, выделенных из стеблей, чем из листьев. Параметры чистоты, выражаемые отношением поглощения на длинах волн $A_{260/280}$ и $A_{260/230}$, также выше у препаратов ДНК, экстрагированных из стеблей с обогащенным буфером, причем соотношение $A_{260/230}$ входит в диапазон нормы только в препаратах ДНК, выделенных из стеблей в присутствии ПВП. При этом очистка от белков эффективна без применения фенола и меркаптоэтанола благодаря двукратной промывке смесью хлороформа и изоамилового спирта (24 : 1).
Заключение. Использование ткани стеблей в качестве материала для исследований, добавление поливинилпирролидона (ПВП) в концентрации 2% в буфер для экстракции, а также повторная промывка смесью хлороформа и изоамилового спирта позволяют получить препараты ДНК с высокой концентрацией и показателями чистоты, входящими в диапазоны нормы, пригодные для изучения генетического разнообразия эфиромасличных роз методом ISSR-анализа.

***Ключевые слова*:** эфиромасличные розы, экстракция ДНК, CTAB-метод, концентрация ДНК, качество ДНК, ISSR-ПЦР

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания № FNZW-2022-0006 «Молекулярно-генетические и физиолого-биохимические аспекты функционирования биологических процессов агрономически ценных микроорганизмов, продуктивных сортов растений и пород сельскохозяйственных животных».
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Сейтаджиева С.Б., Гучетль С.З., Дидович С.В., Городняя Е.В. Оптимизация методики выделения ДНК для изучения генетического разнообразия эфиромасличных роз (*Rosa* L.). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):191-198. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-191-198

© Сейтаджиева С.Б., Гучетль С.З., Дидович С.В., Городняя Е.В., 2024

IDENTIFICATION OF THE DIVERSITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES FOR SOLVING FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-191-198

Optimization of the DNA isolation procedure for assessing the genetic diversity of essential oil roses (*Rosa* L.)

Sevilia B. Seitadzhieva[1], Saida Z. Guchetl[2], Svetlana V. Didovich[1], Ekaterina V. Gorodnyaya[3]

[1] *Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia*

[2] *V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Krasnodar, Russia*

[3] *V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia*

Corresponding author: Sevilia B. Seitadzhieva, cepen@mail.ru

Background. High content of organic compounds that worsen nucleic acid purification in aromatic plants, as well as the use of such toxic substances as phenol and mercaptoethanol in many protocols for plant DNA isolation, make it advisable to take the above disadvantages into account when optimizing the DNA extraction technique for the work with essential oil rose plants.
Material and methods. Rose accessions from the Crimean Federal University's Botanical Garden, and those from the collection held by the Research Institute of Agriculture of Crimea were included in the study. DNA extraction was done according to a modified CTAB protocol. Effectiveness of the technique was assessed using spectrophotometry, horizontal electrophoresis, and ISSR-PCR.
Results. DNA preparations extracted with the modified technique were well visualized on the electropherogram and demonstrated high spectrophotometric values. DNA content was twice as high in preparations isolated with an extraction buffer with PVP, compared to a PVP-free buffer. The concentration was also higher in DNA extracts from stems than that from leaves. Purity parameters expressed by the absorption ratios at wavelengths $A_{260/280}$ and $A_{260/230}$ were again higher for DNA extracts from stems isolated with an enriched buffer, the $A_{260/230}$ ratio falling within the normal range only in DNA extracted from stems in the presence of PVP. Besides, DNA extracts were effectively purified from proteins without phenol or mercaptoethanol, due to double rinsing with a chloroform/isoamyl alcohol (24 : 1) mixture.
Conclusion. Using rose stem tissues as the research material, adding 2% PVP to the extraction buffer, and twofold rinsing with a chloroform/isoamyl alcohol mixture made it possible to obtain DNA extracts with high concentrations and purity indices within normal ranges suitable for the ISSR analysis of essential oil rose genetic diversity.

Keywords: essential oil rose, DNA extraction, CTAB method, DNA concentration, DNA quality, ISSR-PCR

Acknowledgements: this research was conducted within the framework of the state task, Project No. FNZW-2022-0006 "Molecular genetics, physiological and biochemical aspects of the functioning of biological processes in agronomically valuable microorganisms, productive plant cultivars, and farm animal breeds".
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Seitadzhieva S.B., Guchetl S.Z., Didovich S.V., Gorodnyaya E.V. Optimization of the DNA isolation procedure for assessing the genetic diversity of essential oil roses (*Rosa* L.). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):191-198. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-191-198

Введение

Эфиромасличные розы относятся к числу востребованных культур благодаря широкому применению получаемых из них продуктов переработки. Наиболее ценным видом среди группы эфиромасличных роз является *Rosa* × *damascena* Mill. (роза дамасская) и ее разновидность, известная под названием «Казанлыкской розы». Роза дамасская – гибрид между *R. gallica* L. (р. французская, или р. галлика) и R. *canina* L. (р. собачья). Другим гибридом с *R. gallica*, относящимся к масличным розам, является *R.* × *centifolia* L. (р. столепестная, или столистная, или центифолия). Одним из способов повышения качества продукции является выведение сортов с улучшенными признаками. Исследования по оценке генетического разнообразия сортов являются важной составляющей научной базы для реализации этой задачи (Nazarenko et al., 2006; Zolotilov, Nevkrytaya, 2017; Suprun et al., 2020).

Успех молекулярно-генетических исследований растений напрямую зависит от количественного содержания и качества ДНК, которая в дальнейшем будет использована для постановки ПЦР. Выделение ДНК из фруктовых, ароматических и других растений (киви, яблоня, персик, мята, роза, полынь, цитронелла, базилик, пеларгония и т. д.) часто затруднительно из-за содержания таких ингибирующих веществ, как эфирные масла, вторичные метаболиты, полифенолы, полисахариды и др. Полисахариды повышают вязкость раствора, а полифенолы связываются с ДНК, придавая осадку коричневый цвет и делая его непригодным для исследований (Khanuja et al., 1999; Sahu et al., 2012; Jabbarzadeh et al., 2019; Hu et al., 2022).

Для устранения этих сложностей можно использовать ткани разных частей растений в качестве материала для исследований, поскольку химический состав в них может различаться (Kutlunina, Yermoshin, 2017).

Также целесообразно избегать применения таких токсичных веществ как фенол, β-меркаптоэтанол и др., традиционно используемых в стандартных протоколах экстракции растительной ДНК (Murray, Thompson, 1980; Doyle J.J., Doyle J.L., 1987; Demeke et al., 2009). Фенол-хлороформный метод является золотым стандартом для выделения ДНК и может быть использован для работы с разным материалом: растениями, кровью, суспензиями культур. Он обеспечивает высокий выход и является относительно недорогим. Одновременное применение двух органических растворителей повышает эффективность очистки ДНК от белков, поэтому фенол используется в комплексе с хлороформом и изоамиловым спиртом (Yeprintsev et al., 2008; Dairawan, Shetty, 2020). Меркаптоэтанол разрушает дисульфидные мостики в белках, нарушая их третичную и четвертичную структуру, а также ингибирует процессы, которые напрямую или косвенно повреждают ДНК. Кроме того, меркаптоэтанол элиминирует активность ферментов нуклеаз, освобождаемых при лизисе клеток (Ryabushkina et al., 2012; Tiwari et al., 2017).

В качестве безопасной альтернативы β-меркаптоэтанолу применяют 1–2-процентный поливинилпирролидон (ПВП) с низкой молекулярной массой (10 000), который осаждает ДНК, не уменьшая ее концентрацию. ПВП связывает полифенолы и препятствует окрашиванию осадка ДНК в темный цвет (Sahu et al., 2012; Vodchits et al., 2014; Brishten, Vasilevich, 2021). Очищенная ДНК в дальнейшем может быть использована для оценки генетического разнообразия методом ISSR-анализа (Godwin et al., 1997; Sukhareva, Kuluev, 2018).

Цель работы – оптимизация методики выделения ДНК для дальнейшей оценки генетического разнообразия образцов коллекции эфиромасличных роз Научно-исследовательского института сельского хозяйства Крыма (НИИСХ Крыма) путем сравнения эффективности экстракции из разных частей растений и добавления 2-процентного ПВП в CTAB-буфер.

Материалы и методы исследований

Материалом для исследований служили образцы роз из Ботанического сада им. Н.В. Багрова Крымского федерального университета и из коллекции эфиромасличных роз селекционно-семеноводческого центра эфиромасличных культур НИИСХ Крыма (https://ckp-rf.ru/usu/507515/) (табл. 1).

За основу протокола выделения был взят CTAB-метод, описанный в литературе (Doyle J.J., Doyle J.L., 1987; Huang et al., 2013). Исследуемый материал был разделен на две группы: 1) образцы молодых листьев и стеблей, обработанные стандартным CTAB-буфером (2-процентный CTAB; 100 mM Tris-HCl pH 8,0; 20 mM EDTA pH 8,0; 1,4 M NaCl; 0,2-процентный β-меркаптоэтанол); 2) тот же материал, экстрагируемый в CTAB-буфере с добавлением 2-процентного ПВП.

1. 100 мг ткани измельчали в ступке с 1 мл предварительно прогретого при 65°C CTAB-буфера, переносили в пробирки и термостатировали при 65°C 1 час, перемешивая каждые 15 мин.

2. Добавляли равное количество смеси хлороформа и изоамилового спирта (24 : 1), смешивали интенсивным встряхиванием до получения однородной суспензии и центрифугировали 10 мин при 14 000 g и 4°C.

3. Отбирали верхнюю фазу в новые пробирки и повторяли пункт 2.

4. Переносили верхнюю фазу в новые пробирки, добавляли равный объем охлажденного при –20°C изопропанола и смешивали аккуратным переворачиванием. Оставляли на 30 мин при –20°C и центрифугировали при 14 000 g и 4°C в течение 10 мин.

5. Удаляли супернатант и добавляли 70-процентный этанол, охлажденный при –20°C, в объеме, равном объему изопропанола. Смешивали переворачиванием и центрифугировали 10 мин при 14 000 g и 4°C.

6. Сливали супернатант и отбирали остатки спирта наконечником.

7. Высушивали в термостате при 65°C с открытой крышкой в течение 5 мин.

8. Добавляли 100 мкл буфера ТЕ, термостатировали при 65°C 10 мин и встряхивали на микроцентрифуге «Вортекс» до растворения осадка. Полученный экстракт ДНК хранили при –20°C.

Количество и качество выделенной ДНК оценивали методами спектрофотометрии на приборе SPECTROstar Nano в двух повторностях (BMG LABTECH, Германия) и горизонтального электрофореза в 1,5-процентном агарозном геле. Полученные препараты ДНК использовались для постановки ISSR-ПЦР с праймерами ISSR-A34, ISSR-B10, ISSR-B13, ISSR-230/41, ISSR-807, ISSR-812, ISSR-834 и ISSR-840. Реакционная смесь общим объемом 20 мкл имела следующий состав: 10 нг ДНК, однократный буфер, 0,2 мМ дНТФ («Евроген» Россия), 10 пМ праймера («Евроген» Россия), 2,5 единицы активности (е. а.) Hot Start Taq-полимеразы (Qiagen, Германия). Ам-

Таблица 1. Образцы розы, использованные в исследованиях
Table 1. Rose accessions used in the research

Образец / Accession	Биологический статус / Biological status
Образцы Ботанического сада им. Н.В. Багрова / Accessions from the N.V. Bagrov Botanical Garden	
Rosa canina L.	вид / species
‘Ватерлоо’ / ‘Waterloo’	сорт / cultivar (*R. moschata* Mill.)
Образцы из Болгарии / Accessions from Bulgaria	
‘Белая’ / ‘Belaya’	сорт / cultivar (*R. alba* L.)
‘Искра’ / ‘Iskra’	сорт / cultivar (*R. damascena* Mill.)
‘Казанлыкская’ / ‘Kazanlykskaya’	сорт / cultivar (*R. damascena* Mill.)
‘Свежен’ / ‘Svezhen’	сорт / cultivar (*R. damascena* Mill.)
Образцы НИИСХ Крыма / Accessions from the RIA of Crimea	
‘Аура’ / ‘Aura’	сорт / cultivar (*R. damascena* Mill. × *R. gallica* L.)
‘Золушка’ / ‘Zolushka’	сорт / cultivar [‘Весна’ / ‘Vesna’ (*R. damascena* Mill. × *R. gallica* subsp. *eryosyla* Kell. var. *austriaca* Grantz f. *panonica* Br.) × ‘Крымская Красная’ / ‘Krymskaya Krasnaya’ (*R. gallica* L.)]
R. indica Major	вид / species
‘Лада’ / ‘Lada’	сорт / cultivar [‘Белая’ / ‘Belaya’ (*R. alba* L.) × ‘Мичуринка’ / ‘Michurinka’ (*R. damascena* Mill.) × *R. gallica* L.]
‘Лань’ / ‘Lan’	сорт / cultivar [‘Белая’ / ‘Belaya’ (*R. alba* L.) × ‘Мичуринка’ / ‘Michurinka’ (*R. damascena* Mill.) × *R. gallica* L.]
‘Легрина’ / ‘Legrina’	сорт / cultivar [‘Белая’ / ‘Belaya’ (*R. alba* L.) × ‘Мичуринка’ / ‘Michurinka’ (*R. damascena* Mill.) × *R. gallica* L.]
‘Радуга’ / ‘Raduga’	сорт / cultivar [‘Весна’ / ‘Vesna’ (*R. damascena* Mill. × *R. gallica* subsp. *eryosyla* Kell. var. *austriaca* Grantz f. *panonica* Br.) × ‘Крымская Красная’ / ‘Krymskaya Krasnaya’ (*R. gallica* L.)]

плификация проводилась в термоциклере T-100 (BIORAD, США) по следующей программе: начальная денатурация при 95°C – 15 мин; далее 35 циклов: денатурация при 94°C – 30 с, отжиг при 49,0–58,0°C – 30 с, элонгация при 72°C – 1 мин; финальная элонгация при 72°C – 10 мин. Продукты ПЦР визуализировали с помощью горизонтального электрофореза в 2-процентном агарозном геле в 0,5-кратном ТАЕ-буфере с окрашиванием бромистым этидием в течение часа при напряжении тока 120 В.

Результаты и обсуждение

В нашей работе применение фенола в смеси с хлороформом и изоамиловым спиртом для очистки ДНК от белков было заменено двукратной промывкой экстракта смесью хлороформа и изоамилового спирта для лучшей очистки. После добавления изопропанола для осаждения ДНК смесь выдерживали при –20°C в течение 30 мин, так как, согласно данным литературы, количество выпавшего осадка зависит от длительности инкубации (Huang et al., 2013; Tiwari et al., 2017). В результате был получен слабоокрашенный осадок, который хорошо растворялся в ТЕ-буфере.

При визуализации ДНК методом горизонтального электрофореза отмечено, что ДНК, выделенная из стеблей, менее фрагментирована (Vodchits et al., 2014) и имеет длину 10 000–13 000 пн (рис. 1).

Данные спектрофотометрического анализа параметров ДНК отображены в таблицах 2 и 3.

При использовании стандартного СТАВ-буфера концентрации препаратов ДНК в большинстве случаев составляли в среднем 100 нг/мкл. Препараты ДНК, выделенные с добавлением ПВП в экстрагирующий буфер, имеют концентрации больше 200 нг/мкл, что может говорить о лучшей очистке от примесей, повышающей выход препарата.

Спектрофотометрический показатель качества, выражаемый отношением поглощения на длинах волн $A_{260/280}$, характеризует степень очистки от белковых примесей и в большинстве случаев входит в установленный диапазон нормы 1,8–2,0. Если этот показатель меньше 1,8, это говорит о недостаточной очистке от белков, если больше 2,0 – о присутствии РНК в растворе (Tiwari et al., 2017).

Спектрофотометрический показатель качества, выражаемый отношением поглощения на длинах волн $A_{260/230}$ (диапазон нормы 2,0–2,2), является индикатором загрязнения полифенолами, полисахаридами и вторичными метаболитами (Tiwari et al., 2017). Отмечено, что только у препаратов ДНК, экстрагированных из стеблей обогащенным СТАВ-буфером, этот параметр входит в установленный диапазон нормы (см. табл. 3).

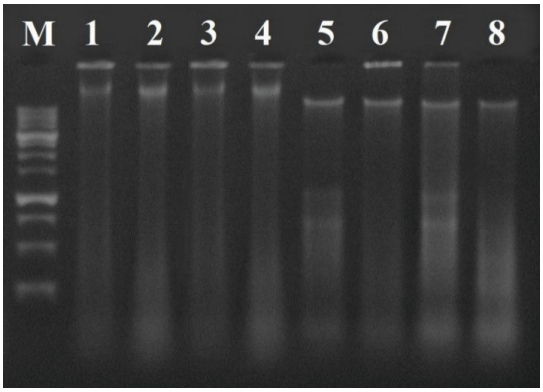


Рис. 1. Электрофореграмма препаратов ДНК, выделенных из листьев и стеблей сортов 'Лань' и 'Ватерлоо' стандартным (Doyle J.J., Doyle J.L., 1987) и модифицированным CTAB-буфером: 1 – 'Лань', лист, без ПВП; **2** – 'Лань', лист, с ПВП; **3** – 'Ватерлоо', лист, без ПВП; **4** – 'Ватерлоо', лист, с ПВП; **5** – 'Лань', стебель, без ПВП; **6** – 'Лань', стебель, с ПВП; **7** – 'Ватерлоо', стебель, без ПВП; **8** – 'Ватерлоо', стебель, с ПВП. **M** – маркер молекулярного веса ДНК Sky-High 250–10 000 пн

Fig. 1. Electropherogram of DNA extracted from the leaves and stems of cvs. 'Lan' and 'Waterloo' using standard and modified buffers: 1 – 'Lan', leaf, without PVP; **2** – 'Lan', leaf, with PVP; **3** – 'Waterloo', leaf, without PVP; **4** – 'Waterloo', leaf, with PVP; **5** – 'Lan', stem, without PVP; **6** – 'Lan', stem, with PVP; **7** – 'Waterloo', stem, without PVP; **8** – 'Waterloo', stem, with PVP. **M** – DNA ladder Sky-High 250–10,000 bp

Таблица 2. Концентрации ДНК в препаратах, выделенных из листьев и стеблей сортов 'Лань' и 'Ватерлоо' стандартным и модифицированным CTAB-буфером

Table 2. Concentrations of DNA extracted from the leaves and stems of cvs. 'Lan' and 'Waterloo' using standard and modified CTAB buffers

Сорт / Cultivar	Орган растения / Plant organ	Концентрация, нг/мкл / Concentration, ng/µl	
		CTAB-буфер без ПВП / CTAB buffer without PVP	CTAB-буфер с ПВП / CTAB buffer with PVP
'Лань' / 'Lan'	Лист / Leaf	128,2 ± 2,62	229,4 ± 0,67
	Стебель / Stem	90,6 ± 1,28	249,3 ± 1,77
'Ватерлоо' / 'Waterloo'	Лист / Leaf	95,3 ± 0,66	225,0 ± 0,43
	Стебель / Stem	94,1 ± 1,45	230,3 ± 1,67

Примечание: измерение проведено в двукратной повторности

Note: measurements taken in two replications

Таблица 3. Качественные показатели препаратов ДНК, выделенных из листьев и стеблей сортов 'Лань' и 'Ватерлоо' стандартным и модифицированным CTAB-буфером

Table 3. Quality characteristics of DNA extracted from the leaves and stems of cvs. 'Lan' and 'Waterloo' using standard and modified CTAB buffers

Сорт / Cultivar	Орган растения / Plant organ	Показатель качества $A_{260/280}$ / Quality index for $A_{260/280}$		Показатель качества $A_{260/230}$ / Quality index for $A_{260/230}$	
		CTAB-буфер без ПВП / CTAB buffer without PVP	CTAB-буфер с ПВП / CTAB buffer with PVP	CTAB-буфер без ПВП / CTAB buffer without PVP	CTAB-буфер с ПВП / CTAB buffer with PVP
'Лань' / 'Lan'	Лист / Leaf	1,80 ± 0,02	1,84 ± 0,01	1,73	1,81 ± 0,01
	Стебель / Stem	1,84 ± 0,01	1,85 ± 0,01	1,83 ± 0,01	2,03 ± 0,02
'Ватерлоо' / 'Waterloo'	Лист / Leaf	1,73 ± 0,02	1,83	1,84 ± 0,01	1,79 ± 0,01
	Стебель / Stem	1,86 ± 0,01	1,90 ± 0,01	1,92 ± 0,01	2,02 ± 0,01

Примечание: измерение проведено в двукратной повторности

Note: measurements taken in two replications

Постановка ПЦР с использованием в качестве матрицы препаратов ДНК, экстрагированных из стеблей роз CTAB-буфером, содержащим ПВП в концентрации 2%, и ISSR-праймерами, позволила четко различить амплифицированные фрагменты на электрофореграмме, что говорит о высоком качестве препаратов ДНК и отсутствии компонентов, ингибирующих реакцию (рис. 2).

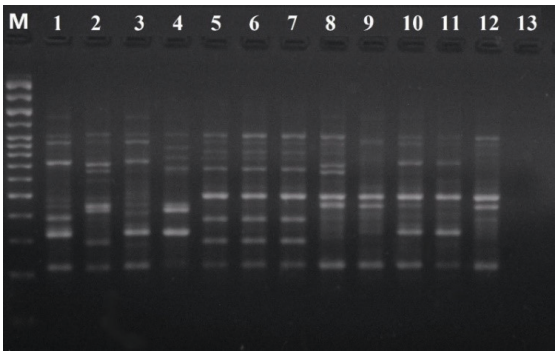


Рис. 2. Электрофореграмма продуктов ПЦР с праймером ISSR-840: 1 – *Rosa canina* L.; **2** – 'Аура'; **3** – 'Белая' (*R. alba* L.); **4** – *R. indica* Major; **5** – 'Искра'; **6** – 'Казанлыкская'; **7** – 'Свежен'; **8** – 'Золушка'; **9** – 'Лада'; **10** – 'Лань'; **11** – 'Легрина'; **12** – 'Радуга'; **13** – отрицательный контроль.
M – маркер молекулярного веса ДНК Step100 Long 100–3000 пн

Fig. 2. Electropherogram of PCR products obtained with the primer ISSR-840: 1 – *Rosa canina* L.; **2** – 'Aura'; **3** – 'Belaya' (*R. alba* L.); **4** – *R. indica* Major; **5** – 'Iskra'; **6** – 'Kazanlykskaya'; **7** – 'Svezhen'; **8** – 'Zolushka'; **9** – 'Lada'; **10** – 'Lan'; **11** – 'Legrina'; **12** – 'Raduga'; **13** – negative control.
M – DNA Ladder Step100 Long 100–3000 bp

Добавление в CTAB-буфер 2-процентного ПВП позволяет увеличить концентрацию ДНК в полученных препаратах в два раза по сравнению с применением стандартного CTAB-буфера как для листьев, так и для стеблей. Этот показатель выше в препаратах ДНК, выделенных из стеблей, чем из листьев, что говорит о лучшей очистке ДНК от полисахаридов и, соответственно, о более эффективной экстрагируемости ДНК из этого вида ткани. Причем у сорта 'Лань' эти различия выражены больше. Предположительно, это связано с тем, что сорт 'Лань' является эфиромасличным в отличие от декоративного сорта 'Ватерлоо', являющегося гибридом розы мускусной, и особенности химического состава в разных частях растения обуславливают эту разницу.

Более качественную очистку препарата из стеблей в присутствии ПВП подтверждают другие спектрофотометрические параметры ДНК. Показатель чистоты $A_{260/280}$ соответствует нормальным значениям, что подтверждает эффективность двукратной промывки смесью хлороформа и изоамилового спирта (24 : 1) без применения фенола и меркаптоэтанола. Этот параметр выше у препаратов ДНК, полученных из стеблей, по сравнению с препаратами, выделенными из листьев. Также отмечено его увеличение при использовании буфера с ПВП.

Параметр $A_{260/230}$ более информативен при оценке качества очистки ДНК. Для обоих сортов отмечены значительные разницы между показателями у препаратов, полученных из листьев и стеблей. Также видны отличия в параметрах при использовании стандартного и обогащенного буфера для аналогичных видов тканей. При этом только у препаратов ДНК, выделенных из стеблей со CTAB-буфером, обогащенным ПВП, соотношение $A_{260/230}$ имеет значение, соответствующее норме. Это согласуется с данными других авторов (Ryabushkina et al., 2012; Brishten, Vasilevich, 2021) о том, что в листьях, обычно используемых для выделения ДНК, содержание полисахаридов может быть выше, чем в других частях растения.

Четкая визуализация продуктов ISSR-ПЦР подтверждает эффективность данной методики экстракции ДНК и ее пригодность для дальнейшего генотипирования эфиромасличных роз методом ISSR-маркирования.

Заключение

В результате проведенных исследований оптимизирована методика выделения ДНК из растений рода *Rosa*. Показана эффективность экстракции из ткани стеблей с использованием CTAB-буфера с добавлением поливинилпирролидона (ПВП) в концентрации 2%. Полученные таким образом препараты ДНК лучше очищены от полифенолов, полисахаридов и других органических веществ по сравнению с препаратами ДНК из листьев. В протоколе не используются токсичные вещества меркаптоэтанол и фенол, применяемые для осаждения белков. Препарат ДНК эффективно очищается от этих соединений двукратной промывкой смесью хлороформа и изоамилового спирта. Оптимизированная методика экстракции ДНК позволяет получить препарат с количественными и качественными показателями, пригодными для его дальнейшего использования в изучении генетического разнообразия образцов коллекции эфиромасличных роз НИИСХ Крыма. Данный протокол может быть рекомендован для применения в исследованиях по генотипированию и изучению генетического разнообразия роз.

References / Литература

Brishten A.M., Vasilevich I.V. Comparative characterization of DNA extracted with the CTAB-PVP-mercaptoethanol protocol from different plant organs (bud, leaf, and stem) (Sravnitelnaya kharakteristika vydelennoy DNK protokolom "TsTAB-PVP-merkaptoetanol" iz raznykh organov (pochka, list, stebel) rasteniy). In: *Scientific Potential of the Youth for the Future of Belarus: Proceedings of the XV International Youth Scientific and Practical Conference; Pinsk; April 9, 2021 (Nauchny potentsial molodezhi – budushchemu Belarusi: materialy XV mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii; Pinsk; 9 apre-*

lya 2021 g.). Pinsk: Polessky State University; 2021. p.62-64. [in Russian] (Бриштен А.М., Василевич И.В. Сравнительная характеристика выделенной ДНК протоколом «ЦТАБ- PVP- меркаптоэтанол» из разных органов (почка, лист, стебель) растений. В кн.: *Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси: материалы XV международной молодежной научно–практической конференции; г. Пинск; 9 апреля 2021 г*. Пинск: Полесский государственный университет; 2021. С.62-64). URL: https://www.polessu.by/sites/default/files/files/21-itc/"Научный%20потенциал%20молодежи%20–%20%20%20%202%20часть.pdf [дата обращения: 15.02.2023].

Dairawan M., Shetty P.J. The evolution of DNA extraction methods. *American Journal of Biomedical Science and Research*. 2020;8(1):39-45. DOI: 10.34297/AJBSR.2020.08.001234

Demeke T., Ratnayaka I., Phan A. Effects of DNA extraction and purification methods on real-time quantitative PCR analysis of Roundup Ready soybean. *Journal of AOAC International*. 2009;92(4):1136-1144. DOI: 10.1093/jaoac/92.4.1136

Doyle J.J., Doyle J.L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*. 1987;19(1):11-15.

Godwin I.D., Aitken E.A.B., Smith L.W. Application of inter simple sequence repeat (ISSR) markers to plant genetics. *Electrophoresis*. 1997;18(9):1524-1528. DOI: 10.1002/elps.1150180906

Hu C.G., Honda C., Kita M., Zhang Z., Tsuda T., Moriguchi T. A simple protocol for RNA isolation from fruit trees containing high levels of polysaccharides and polyphenol compounds. *Plant Molecular Biology Reporter*. 2002;20(1):69. DOI: 10.1007/BF02801935

Huang Q.X., Wang X.C., Kong H., Guo Y.L. Guo A.C. An efficient DNA isolation method for tropical plants. *African Journal of Biotechnology*. 2013;12(19):2727-2732. DOI: 10.5897/AJB12.524

Jabbarzadeh Z., Khosh-Khui M., Salehi H., Saberivand A. Optimization of DNA extraction for ISSR studies in seven important rose species of Iran. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. 2009;3(4):639-642.

Khanuja S.P.S., Shasany A.K., Darokar M.P., Kumar S. Rapid isolation of DNA from dry and fresh samples of plants producing large amounts of secondary metabolites and essential oils. *Plant molecular biology Reporter*. 1999;17(1):74. DOI: 10.1023/A:1007528101452

Kutlunina N.A., Yermoshin A.A. Molecular genetics methods in plant studies: educational and methodological guide (Molekulyarno-geneticheskiye metody v issledovanii rasteniy: uchebno-metodicheskoye posobiye). Yekaterinburg: Ural University; 2017. [in Russian] (Кутлунина Н.А., Ермошин А.А. Молекулярно-генетические методы в исследовании растений: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: Издательство Уральского университета; 2017).

Murray M.G., Thompson W.F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic Acids Research*. 1980;8(19):4321-4325. DOI: 10.1093/nar/8.19.4321

Nazarenko L.G., Korshunov V.A., Kochetkov E.S. Rose cultivation for essential oil production (Efiromaslichnoye rozovodstvo). L.G. Nazarenko (ed.). Simferopol: Tavriya; 2006. [in Russian] (Назаренко Л.Г., Коршунов В.А., Кочетков Е.С. Эфиромасличное розоводство / под ред. Л.Г. Назаренко. Симферополь: Таврия; 2006).

Ryabushkina N.A., Omasheva M.E., Galiakparov N.N. Specific features of DNA extraction from plant objects (Spetsifika vydeleniya DNK iz rastitelnykh obyektov). *Biotechnology. Theory and Practice*. 2012;(2):9-26. [in Russian] (Рябушкина Н.А., Омашева М.Е., Галиакпаров Н.Н. Специфика выделения ДНК из растительных объектов. *Биотехнология. Теория и практика*. 2012;(2):9-26). DOI: 10.11134/btp.2.2012.1

Sahu S.K., Thangaraj M., Kathiresan K. DNA extraction protocol for plants with high levels of secondary metabolites and polysaccharides without using liquid nitrogen and phenol. *ISRN Molecular Biology*. 2012;2012:205049. DOI: 10.5402/2012/205049

Scientific and Technological Infrastructure of the Russian Federation. Collections of Essential Oil, Spicy, Aromatic and Medicinal Plants: [website]. [in Russian] (НТИРФ. Коллекции эфирномасличных, пряно–ароматических и лекарственных растений: [сайт]). URL: https://ckp-rf.ru/usu/507515/ [дата обращения 10.02.2023].

Sukhareva A.S., Kuluev B.R. DNA markers for genetic analysis of crops. *Biomics*. 2018;10(1):69-84. [in Russian] (Сухарева А.С., Кулуев Б.Р. ДНК-маркеры для генетического анализа сортов культурных растений. *Биомика*. 2018;10(1):69-84). DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2018-15

Suprun I.I., Plugatar S.A., Stepanov I.V., Naumenko T.S. Analysis of genetic relationships of genotypes of the genus *Rosa* L. from the collection of Nikita Botanical Gardens using ISSR and IRAP DNA markers. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(5):474-480. DOI: 10.18699/VJ20.639

Tiwari S., Tomar R.S., Tripathi M.K., Ahuja A. Modified protocol for plant genomic DNA isolation. *Indian Research Journal of Genetics and Biotechnology*. 2017;9(4):478-485.

Vodchits N.V., Zaitseva I.O., Kirikivoch I.G., Yurchenko E.O., Volotovich A.A. Comparison of the methods of total genomic DNA extraction from highbush blueberry. *Bulletin of Polessky State University. Series in Natural Sciences*. 2014;(2):25-30. [in Russian] (Водчиц Н.В., Зайцева И.О., Кирикович И.Г., Юрченко Е.О., Волотович А.А. Сравнительный анализ методов экстракции общей геномной ДНК голубики высокорослой. *Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук*. 2014;(2):25-30).

Yeprintsev A.T., Popov V.N., Fedorin D.N. Identification and study of gene expression: educational and methodological manual for universities (Identifikatsiya i issledovaniye ekspressii genov: uchebno-metodicheskoye posobiye dlya vuzov). Voronezh: Voronezh State University; 2008. [in Russian] (Епринцев А.Т., Попов В.Н., Федорин Д.Н. Идентификация и исследование экспрессии генов: учебно-методическое пособие для вузов. Воронеж: Воронежский государственный университет; 2008).

Zolotilov V.A., Nevkrytaya N.V. Laying out and exploiting essential oil rose nurseries: guidelines (Zakladka i ekspluatatsiya matochnikov rozy efiromaslichnoy: metodicheskiye rekomendatsii). Simferopol: Research Institute of Agriculture of Crimea; 2017. [in Russian] (Золотилов В.А., Невкрытая Н.В. Закладка и эксплуатация маточников розы эфиромасличной: методические рекомендации. Симферополь: НИИСХ Крыма; 2017).

Информация об авторах

Севиля Бахтияровна Сейтаджиева, младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, 295043 Россия, Республика Крым, Симферополь, ул. Киевская, 150, cepen@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1334-2758

Саида Заурбиевна Гучетль, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта, 350038 Россия, Краснодар, ул. Филатова, 17, saida.guchetl@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2193-5230

Светлана Витальевна Дидович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, 295043 Россия, Республика Крым, Симферополь, ул. Киевская, 150, sv-alex.68@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6569-0602

Екатерина Васильевна Городняя, кандидат биологических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 295007 Россия, Республика Крым, Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4, e.gorodnyaya@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1142-9630

Information about the authors

Sevilia B. Seitadzhieva, Associate Researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, 150 Kievskaya St., Simferopol 295493, Russia, cepen@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1334-2758

Saida Z. Guchetl, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, 17 Filatova St., Krasnodar 350038, Russia, saida.guchetl@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2193-5230

Svetlana V. Didovich, Cand. Sci (Agriculture), Leading Researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, 150 Kievskaya St., Simferopol 295493, Russia, sv-alex.68@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6569-0602

Ekaterina V. Gorodnyaya, Cand. Sci (Biology), Associate Professor, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 4, Akademika Vernadskogo Ave., Simferopol 295007, Republic of Crimea, Russia, e.gorodnyaya@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1142-9630

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 16.05.2023; одобрена после рецензирования 13.07.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 16.05.2023; approved after reviewing on 13.07.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ

Научная статья
УДК 633.34:581.543(470.311)
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-199-209

CC BY

Восстановление архитектоники колоса древнего ячменя из раскопа Усвятского городища XII века

Т. В. Семилет[1], Н. В. Смирнова[1], Н. А. Швачко[1], О. Н. Ковалева[1], Е. К. Хлесткина[1, 2]

[1] *Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия*

[2] *Научно-технологический университет «Сириус», Центр генетики и наук о жизни, Краснодарский край, Россия*

Автор, ответственный за переписку: Наталия Альбертовна Швачко, n.shvachko@vir.nw.ru

Актуальность. В статье приводятся данные об архитектонике колосьев древнего ячменя XII века, найденного при раскопках Усвятского городища в 2019 г. Используя современные молекулярно-генетические подходы, были изучены гены доместикации (*Btr1*, *Btr2*, *Vrs*) древних и современных образцов ячменя коллекции ВИР.
Материалы и методы. Исследованы карбонизированные зерновки, найденные археологами при раскопках Усвят. Осуществлен дизайн праймеров генов доместикации и поставлены ПЦР с современными и древними зерновками ячменя. Работы по изучению древних зерновок выполняли согласно правилам организации палеогенетической лаборатории, исключающим контаминацию с современной ДНК. Фрагменты генов доместикации современных и древних образцов ячменя секвенировали по Сэнгеру.
Результаты исследования. Выполнено выделение древней ДНК и дальнейшее ее обогащение. Анализ последовательностей генов доместикации позволил восстановить особенности строения колоса древнего ячменя.
Заключение. Восстановлена архитектоника древних злаковых. Выявлено, что древний ячмень являлся двурядным и ломкоколосым.

Ключевые слова: древняя ДНК, *Btr1*, *Btr2*, *Vrs*, *Hordeum vulgare* L.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0007 «Выявление новых генетических маркеров селекционно значимых свойств и новых аллельных вариантов хозяйственно ценных генов в генофонде культурных растений и их диких родичей при помощи геномных и постгеномных технологий».
Авторы выражают огромную благодарность сотрудникам отдела агроботаники и *in situ* сохранения генетических ресурсов растений ВИР канд. биол. наук И. Г. Чухиной и канд. биол. наук Л. Ю. Шипилиной за предоставление материалов для палеогенетических работ и обсуждение результатов. Рисунки к публикации выполнены художником Е. А. Чарушиной-Капустиной.
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Семилет Т.В., Смирнова Н.В., Швачко Н.А., Ковалева О.Н., Хлесткина Е.К. Восстановление архитектоники колоса древнего ячменя из раскопа Усвятского городища XII века. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):199-209. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-199-209

© Семилет Т.В., Смирнова Н.В., Швачко Н.А., Ковалева О.Н., Хлесткина Е.К., 2024

IDENTIFICATION OF THE DIVERSITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES FOR SOLVING FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-199-209

Restoration of the spike architectonics in ancient barley excavated at the twelfth-century settlement of Usvyaty

Tatyana V. Semilet[1], Natalia V. Smirnova[1], Nataliya A. Shvachko[1], Olga N. Kovaleva[1], Elena K. Khlestkina[1, 2]

[1] *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia*

[2] *Sirius University of Science and Technology, Research Center of Genetics and Life Sciences, Krasnodar Territory, Russia*

Corresponding author: Nataliya A. Shvachko, n.shvachko@vir.nw.ru

Background. The data are presented on the architectonics of ancient barley spikes from the 12th century, excavated in 2019 at Usvyaty Settlement. Modern molecular genetics approaches were used to study domestication genes (*Btr1*, *Btr2*, and *Vrs*) in ancient and contemporary barleys (germplasm accessions preserved at VIR).
Materials and methods. The carbonized kernels found by archaeologists during the excavations at Usvyaty were analyzed. Primers for domestication genes were designed, and PCR was performed on contemporary and ancient barley grains. Ancient kernels were studied in accordance with the rules established for organizing a paleogenetics laboratory, which excluded any contamination with contemporary DNA. Fragments of domestication genes from contemporary and ancient barley grain samples underwent Sanger sequencing.
Results. Ancient DNA was isolated and enriched. The analysis of domestication gene sequences made it possible to reconstruct the ancient barley spike's features.
Conclusion. The ancient cereal crop architectonics was restored to ascertain a brittle two-row spike of ancient barley.

Keywords: ancient DNA, *Btr1*, *Btr2*, *Vrs*, *Hordeum vulgare* L.

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0007 "Identifying new genetic markers of significant traits for breeding and new allelic versions of agronomically important genes in the genetic diversity of cultivated plants and their wild relatives using genomic and post-genomic technologies".
The authors express their deep gratitude to Drs. Irena G. Chukhina and Liliya Yu. Shipilina, staff members of the Department of Agrobotany and *In Situ* Conservation of Plant Genetic Resources, VIR, for providing the material for paleogenetic studies and discussing the results. Illustrations to the publication were made by the artist Evgeniya A. Charushina-Kapustina.
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Semilet T.V., Smirnova N.V., Shvachko N.A., Kovaleva O.N., Khlestkina E.K. Restoration of the spike architectonics in ancient barley excavated at the twelfth-century settlement of Usvyaty. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):199-209. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-199-209

Введение

Самые ранние достижения в области селекции растений принадлежат древним земледельцам, выделившим комплекс видов из флористических регионов земного шара. Эти растения послужили основой для первых культур, которые стали выращивать при определенных условиях и осуществлять примитивные формы отбора, направленного на выделение и закрепление хозяйственно значимых признаков (Goncharov, Kondratenko, 2008). Данные, полученные археологами при раскопках древних исторических памятников, свидетельствуют о том, что злаки первыми подверглись доместикации (Hillman, 1978; Goloubinoff et al., 1993; Brown et al., 1994; Blatter et al., 2002; Bilgic et al., 2016; Pankin, von Korff, 2017; Lister et al., 2018). Появление культурных форм приурочено к Юго-Западной Азии, которую впоследствии стали называть «Дуга плодородия» (Badr et al., 2000; Riehl et al., 2014). В древних текстах, найденных в Азии, Африке и Европе, ячмень упоминается как важный компонент пищевого рациона. Данная культура возделывалась в Сирии, Палестине, Месопотамии и по площади занимала лидирующее положение, по сравнению с другими культурами (Newman C.W., Newman R.K., 2006). Несмотря на то что во время раскопок находят множество растительных остатков, у археоботаников остается много вопросов об этапах доместикации диких предков рода *Hordeum* L. Пролить свет на данный аспект возможно путем изучения качественных (пленчатость или голозерность ячменя, ломкоколосость) и количественных признаков (рядковость) у ископаемых остатков растений с помощью современных палеогенетических методов.

Архитектоника соцветия ячменя уникальна и разнообразна. Соцветие представлено сложным колосом, у которого два боковых и центральный одноцветковые колоски располагаются на одном уступе колосового стержня. На основе фертильности и стерильности боковых колосков ячмень подразделяется на двурядный и шестирядный (Koppolu et al., 2013). В геноме ячменя известно пять локусов гена *Vrs* (*Six-rowed spike*), которые ассоциированы с рядностью колоса: *vrs1, vrs2*, *vrs3*, *vrs4* и *vrs5* (Komatsuda et al., 2004; Ramsay et al., 2011; Koppolu et al., 2013; Bull et al., 2017; Van Esse et al., 2017; Youssef et al., 2017). Потеря функции любого из этих генов приводит к разному количеству фертильных и стерильных простых колосков (Komatsuda et al., 2004; Ramsay et al., 2011). У дикого ячменя так же, как и у современных сортов, колос может быть двурядным и шестирядным.

Еще одним хозяйственно важным признаком в селекции ячменя является ломкоколосость. Дикие предки рода *Hordeum* имели ломкий колос, что облегчало распространение растений и расселение на новые территории. Для человека такие формы усложняли сбор урожая, так как при созревании колос рассыпался и это приводило к потере урожая. Поэтому древние земледельцы отбирали растения с прочным колосом. Молекулярно-генетические методы исследования ячменя с ломким и неломким колосом выявили два гена, *Btr1* (*Non-brittle rachis 1*) и *Btr2* (*Non-brittle rachis 2*) (Takahashi, Hayashi, 1964), которые регулируют наличие мелкоклеточной зоны в месте перехода верхнего членика в нижний, развитие большого участка пазушной ткани в основании верхнего членика. Выявленные гены располагаются на хромосоме 3H и являются взаимодополняющими. M. Pourkheirandish et al. (2015) показали, что несмотря на схожую структуру и расположение на одной хромосоме, *Btr1* и *Btr2* отличаются на уровне нуклеиновых кислот и кодируют разные пептиды.

Сравнение ископаемых остатков зерновок и колосьев древнего ячменя с дикими и современными культурными формами свидетельствует об отборе, направленном на изменение архитектоники колоса. По сравнению с диким предком ячменя *H. spontaneum* (K. Koch) Thell., процесс доместикации существенно изменил внешний вид культурных растений, наделив их признаками, необходимыми для успешного возделывания и сбора урожая, – голозерностью, прочностью колоса и многорядностью. Раскопки древнего поселения Джармо в Ираке показали масштабное возделывание ячменя уже в 7000–6500 до н. э. В больших количествах двурядный голозерный ячмень выращивался на территории южной Иордании, в то время как шестирядный голозерный ячмень впервые упоминается в памятниках Али-Кош (Ali Kosh), Гаджилар (Hacilar) и Чатал Хююк (Catal Huyuk) возрастом 7000–6000 лет до н. э. (Harlan, 1979).

На сегодняшний день остаются актуальными вопросы, затрагивающие процесс доместикации ячменя, который возделывался на территории Северо-Запада России. Ранее T. Semilet et al. (2023) при изучении древней ДНК (дДНК) карбонизированных зерновок установили, что в Усвятском городище (Псковская область) в XII веке выращивали пленчатые формы. Однако остались вопросы о строении колоса и определении рядности и ломкости колоса. *Целью данного исследования* являлось восстановление архитектоники колосьев древних злаков, произраставших на территории Древней Руси в XII веке, с помощью современных молекулярно-генетических методов.

Объекты исследования

Материалом для исследования послужили карбонизированные зерновки ячменя, которые были найдены при раскопках Усвятского городища XII века (Псковская область, Россия). Воздействие высоких температур на территории Усвят законсервировало семена, сохранив у большинства внешние видоспецифические признаки. Общее количество семян составило 34 000. По результатам морфологического анализа зерновок ячменя насчитывалось 28 825. Выборка карбонизированных зерновок рода *Hordeum* состояла из 20 повторностей (образцов). Современные сорта из мировой коллекции ВИР (к-24634, к-27605, к-31522) и 3 образца дикого ячменя (w-610, w-909, w-843) использовали в качестве положительных контролей.

Палеогенетические методы изучения древней ДНК

На первом этапе исследования дДНК ячменя проводили *in silico*-анализ генов, ассоциированных с ломкоколосостью (*Btr*) и рядностью простых колосков (*Vrs*) ячменя. При работе в геномных базах данных (NCBI, Phytozome) были подобраны последовательности нуклеотидов и выявлены мутации (вставки, делеции), которые приводили к изменению экспрессии генов и возникновению неломкоколосых шестирядных форм соцветий. К данным участкам были подобраны пары праймеров для дальнейшей постановки ПЦР и проведения секвенирования (таблица).

Таблица. Список праймеров, использованных в работе

Table. List of the primers used in the study

Название	Прямой праймер	Обратный праймер	Продукт, пн	NCBI accession No.
HvVrs1	GATCGGAAAGCACTCAGCC	GAGCAAGCATACCTCGTTCTC	801	AB489121.1
HvVrs4	GAGATGGACGGAGGAGGG	GAGCAAGCATACCTCGTTCTC	282	AB489121.1
HvBtr-1a	CCGCAATGGAAGGCGATGTA	ATGGAGCACCAGGAGCT	240	LT727735.1
HvBtr-1b	ATAGTCAGCGTGGTGGTGG	CGTGGAGCTGCTCTTCCAT	255	LT727735.1
HvBtr-2	TCGTAGCTTGACCTACATCA	AGAGGGAGAAGACGTTGC	233	LT727760.1
HvBtr-2a	ATGGAGGTTTGGAGGAAGAC	AGAGGGAGAAGACGTTGC	271	LT727760.1
HvBtr-2b	GCAACGTCTTCTCCCTCT	TCAGCCATGCAGAAGCAT	328	LT727760.1

Выделение, амплификацию и секвенирование дДНК осуществляли по общепринятым правилам работы с древней ДНК, опубликованным ранее (Pääbo et al., 1989; Poinar, 2001; Semilet et al., 2023). Работы вели в специально оборудованном помещении (рис. 1).

Для изолирования ДНК использовали коммерческий набор DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen, Германия). Процесс выделения ДНК осуществлялся согласно протоколу производителя. Преимущество данного набора состоит в том, что благодаря двухэтапной очистке ДНК на колонках, генетический материал выделяется без примеси веществ. Стадию рефрагментации (обогащения) дДНК проводили с использованием набора Sigma-Aldrich GenomePlex Complete Whole Genome Amplification (WGA, США). Технология обогащения фрагментов ДНК посредством направленной гибридизации позволяет накапливать пул фрагментов ДНК для повышения точности сборки расширенных участков генома. Концентрацию ДНК измеряли спектрофотометрическим методом на приборе NanoPhotometer NanoDrop.

Амплификацию дДНК проводили по протоколу Touch down с повышением и понижением температурного режима отжига праймеров. Реакционная смесь общим объемом 20 мкл содержала 200 нг матричной ДНК (после рефрагментации), 2,5 мМ dNTP, 1x ПЦР-буфер (67 мМ TrisHCl, pH 8,8, 10 мМ dNTPs, 0,01% Твин-20), 12 мМ $MgCI_2$, 5 ед/мкл Taq-Polymerase, по 0,5 мкМ каждого из праймеров. Амплификацию проводили при следующих условиях: предденатурация в течение 2 мин при 94°C; 13 циклов, состоящих из денатурации 15 сек при 94°C, отжига 30 сек при 65°C (со снижением температуры 0,7°C/цикл) и полимеризации 45 сек при 72°C; 24 цикла, состоящие из предденатурации 15 сек при 94°C, отжига 30 сек при 56°C, полимеризации 45 сек при 72°C и финальной элонгации 10 мин при 72°C. Продукты ПЦР разделяли в 1,5–2-процентном горизонтальном агарозном геле, приготовленном на 1xTAE-буфере (40 мМ трис-HCI, 20 мМ ацетат натрия, 1 мМ ЭДТА, pH 8.4; «Евроген»). Фрагменты ДНК окрашивали бромидом этидия с последующей визуализацией ультрафиолетовым светом с ис-

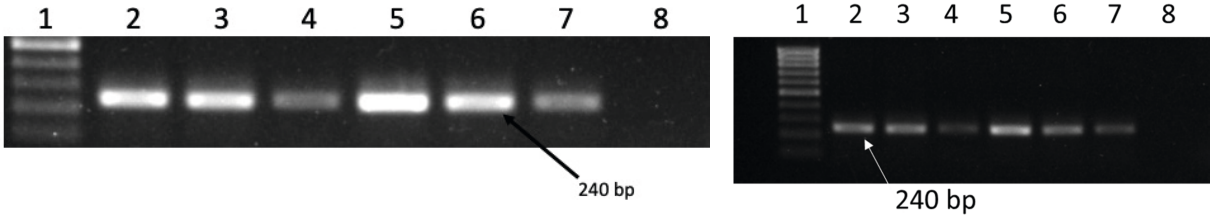


Рис. 1. Изоляция древней ДНК в лаборатории ВИР

Fig. 1. Isolation of ancient DNA in the VIR laboratory

пользованием системы гель-документирования Gel Doc XR+ (Bio-Rad).

Секвенирование образцов по Сэнгеру проводили на генетическом анализаторе 3500xl (Applied Biosystems®, США). Амплифицированные фрагменты ДНК элюировали из 1-процентного агарозного геля с использованием набора diaGene, согласно протоколу производителя («Диа-М», Россия). Очищенную ДНК-матрицу использовали для секвенирующей реакции, которая протекала в 15 мкл смеси (содержащей 90 нг ДНК-матрицы, 10 пмоль праймера, 1,5 мкл 5X Big Dye 3.1 и 3 мкл 5X буфера) при следующих условиях: предцикл – 5 мин при 95°C; денатурация – 40 сек при 95°C; отжиг – 30 сек при 55°C; полимеризация – 4 мин при 60°C; число циклов – 25. Продукты реакции секвенирования очищали методом осаждения этанолом с последующей сушкой при комнатной температуре и растворением в 10 мкл формамида Hi-Di™ (Thermo FS, США) с целью денатурации матричной ДНК. Обработку полученных секвенограмм проводили с использованием программного обеспечения UGENE v.40.0 (Okonechnikov et al., 2012).



a **b**

Рис. 2. Электрофореграммы продуктов амплификации образцов ДНК с праймером HvBtr1b, продукт амплификации 240 пн: a – современные образцы ДНК ячменя (1 – маркер молекулярного веса St 100; 2 – w-610; 3 – к-31522; 4 – w-843; 5 – к-24634; 6 –к-27605; 7 – w-909; 8 – отрицательный контроль); **b** – образцы ДНК древнего ячменя (1 – маркер молекулярного веса St 100; 2–7 –древняя ДНК; 8 – отрицательный контроль)

Fig. 2. Electrophoretic patterns of DNA amplification products obtained with the primer HvBtr1b, product size 240 bp: a – contemporary barley DNA samples (1 – molecular weight marker St 100; 2 – w-610; 3 – k-31522; 4 – w-843; 5 – k-24634; 6 –k-27605; 7 – w-909; 8 –negative control); **b –** ancient barley DNA samples (1 – molecular weight marker St 100; 2–7 – ancient DNA; 8 – negative control)

Результаты исследования

Для изучения архитектоники колоса древнего ячменя XII века и реконструкции внешнего облика растений применяли современные молекулярно-генетические подходы. Изучаемая выборка карбонизированных зерновок рода *Hordeum* состояла из 20 образцов. При работе с дДНК проводили дополнительно рефрагментацию для получения качественных фрагментов генетического материала. В качестве положительных контролей использовали современные сорта ячменя из мировой коллекции ВИР.

Ломкоколосый фенотип был определен при изучении аллельного состояния генов *Btr1* и *Btr2*. При постановке полимеразной цепной реакции были получены короткие фрагменты гена *Btr1* современного (рис. 2, a) и древнего генетического материала ячменя (см. рис. 2, b). Выборка современных образцов ячменя включала дикорастущие виды – *H. spontaneum* (w-610, w-909), *H. murinum* L. (w-843) с ломким колосом – и культурные формы *H. vulgare* L. (к-24634, к-27605) с неломким колосом.

Полученные продукты амплификации были элюированы из агарозного геля и секвенированы. На первом этапе осуществлялось секвенирование современных образцов ячменя и выравнивание относительно референсной последовательности гена *Btr1* (LT727735.1) (рис. 3). Данный этап необходим для определения возможных мутаций в гене, приводящих к возникновению неломкоколосых форм ячменя.

В двух образцах (к-24634 и к-27605) выявлена делеция одного нуклеотида (цитозина) в экзоне (положение 275 пн). Это подтверждает, что в гене *Btr1* произошла мутация и сорта ячменя несут рецессивный аллель *btr1*, определяющий неломкий колос (культурный фенотип). У дикорастущих ломкоколосых форм не выявлено делеции в данном положении. Полученный результат свидетельствует о том, что молекулярно-генетические методы могут быть использованы для характеристики образцов ячменя по признаку «ломкоколосость». Далее осуществлялось секвенирование продуктов амплификации дДНК (рис. 4)

На следующем этапе проводили анализ гена *Btr2*, так как перестройки в его последовательности также вызывают возникновение неломкоколосых форм. Для определения аллельного состояния гена *Btr2* проводили амплификацию с видоспецифичными праймерами (см. таблицу). Полученные продукты амплификации (размер 271 пн) современной ДНК были проанализированы при

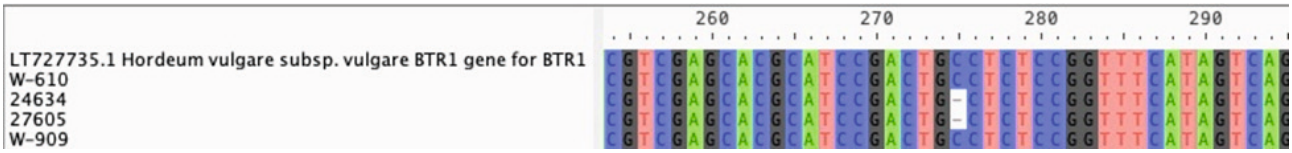


Рис. 3. Выравнивание полученных последовательностей гена *Btr1* современных образцов ячменя из коллекции ВИР относительно референсной последовательности гена из базы NCBI (LT727735.1)

Fig. 3. Alignment of the *Btr1* gene sequences from contemporary barley accessions preserved at VIR against the reference gene sequence from the NCBI database (LT727735.1)

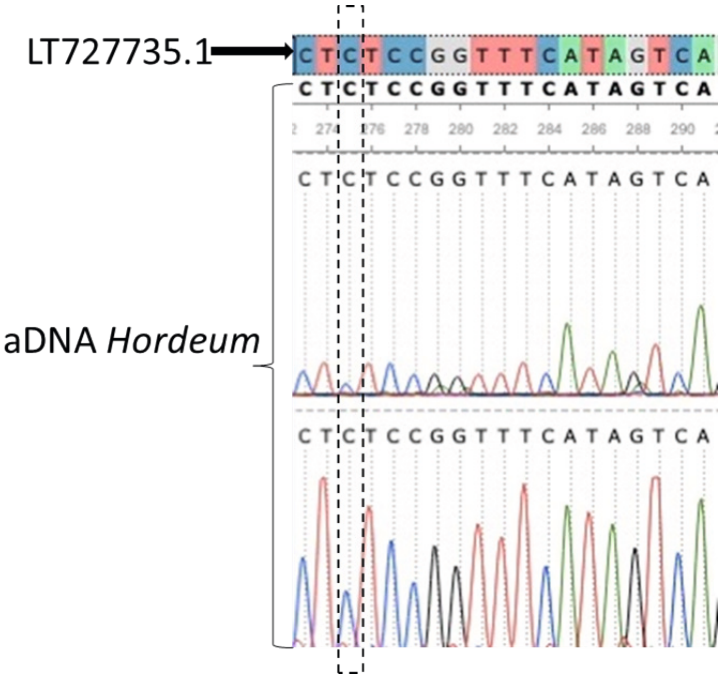


Рис. 4. Выравнивание полученных секвенограмм относительно референсной последовательности гена *Btr1* из базы NCBI (LT727735.1) и образцов древней ДНК ячменя. На рисунке фрагмент, где возможно наличие однонуклеотидной делеции, отвечающей за неломкоколосый фенотип

Fig. 4. Alignment of the obtained sequencing patterns against the reference *Btr1* gene sequence from the NCBI database (LT727735.1) and ancient barley DNA samples. The figure shows a fragment where there may be a single-nucleotide deletion responsible for the non-brittle spike phenotype

помощи секвенирования и выравнивания с референсной последовательностью из базы NCBI (LT727769.1) (рис. 5).

Результаты анализа секвенограмм образцов ячменя с неломким колосом показали отсутствие делеции в 12 пн в экзоне (285–295 пн). У дикого ячменя *H. spontaneum* (образцы w-909 и w-610) отсутствие перестроек в генах *Btr1* и *Btr2* определяет фенотипический признак – ломкоколосость. У культурных форм ячменя к-27605 и к-24634 выпадение участка в гене *Btr1* и отсутствие изменений *Btr2* связаны с возникновением неломкоколосого фенотипа. Секвенирование участка *Btr2* у древних образцов ячменя не выявило мутаций в гене.

Рядность колоса ячменя – еще один важный фенотипический признак, который определяет урожайность растений. Определение двурядности/шестирядности ячменя осуществлялось при помощи анализа аллельного состояния гена *Vrs1*. При анализе последовательностей гена из базы данных NCBI были определены три различных аллеля (*Vrs1.a1*, *Vrs1.a2*, *Vrs1.a3*). Мутации в данном гене приводят к появлению шестирядных форм.

Перед секвенированием гена *Vrs1* мы получили продукты амплификации размером около 801 пн на современных образцах двурядного (w-610, w-909, к-27605) и шестирядного ячменя (к-24634) из коллекции ВИР (рис. 6).

После реакции секвенирования по Сэнгеру с праймерами к гену *Vrs1* получили нуклеотидные последовательности, которые с использованием программы UGENE v.40.0 (Okonechnikov et al., 2012) и программы AliView (v. 1.27) выравнивали относительно референсной последовательности гена *Vrs1* из базы NCBI (AB489121.1). На основе выравнивания ресеквенированных последовательностей гена *Vrs1* была выявлена делеция в 1354-м нуклеотиде (аллель *vrs1.a*) у образца к-24634, которая приводит к сдвигу рамки считывания и является одной из наиболее распространенных мутаций, приводящих к шестирядности колоса (рис. 7).

Перед секвенированием последовательности гена *Vrs1* древних образцов ячменя провели ПЦР с перекрывающимися праймерами, которые охватывают всю последовательность гена *Vrs1*. В результате получили продукты амплификации размером до 300 пн на древних образцах ячменя (рис. 8).

На основе анализа полученных фрагментов последовательности гена *Vrs1* древних образцов ячменя мы не выявили ожидаемых перестроек в генетическом материале, приводящих к шестирядности колоса (рис. 9).

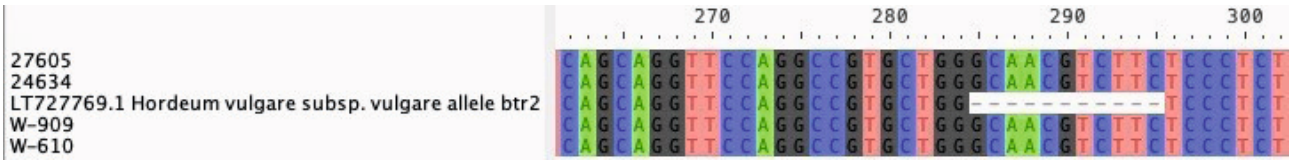


Рис. 5. Выравнивание полученных последовательностей гена *Btr2* современных образцов ячменя относительно референсной последовательности гена *btr2* из базы NCBI (LT727769.1)

Fig. 5. Alignment of the *Btr2* gene sequences obtained from contemporary barley accessions against the reference *btr2* gene sequence from the NCBI database (LT727769.1)

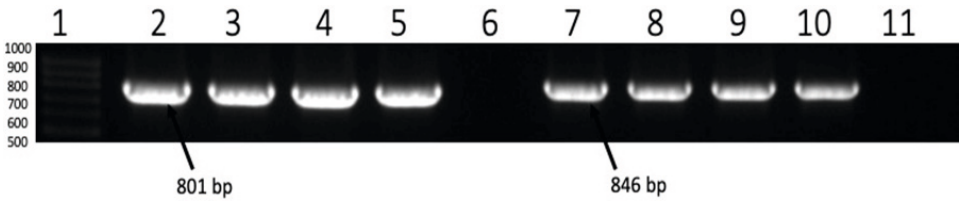


Рис. 6. Электрофоретические спектры продуктов амплификации современных образцов ДНК ячменя с праймером HvVrs1 (1 – Маркер молекулярного веса St 100; 2 – к-27605; 3 – к-24634; 4 – w-610; 5 – w-909; 6 – отрицательный контроль)

Fig. 6. Electrophoretic patterns of DNA amplification products from contemporary barley accessions with the primer HvVrs1 (1 – molecular weight marker St 100; 2 – k-27605; 3 – k-24634; 4 – w-610; 5 – w-909; 6 – negative control)

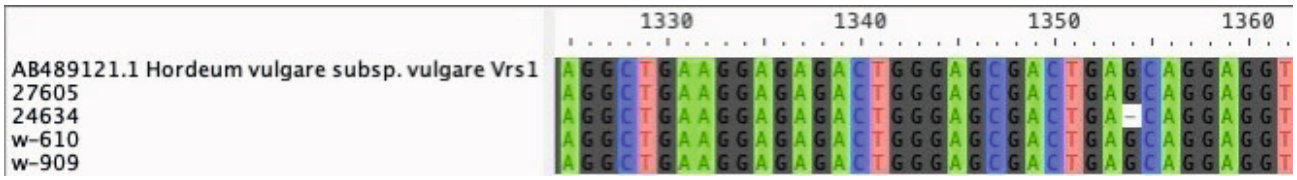


Рис. 7. Выравнивание последовательностей гена *Vrs1* современных образцов ячменя относительно референсной последовательности из базы данных NCBI (AB489121.1)

Fig. 7. Alignment of the *Vrs1* gene sequences from contemporary barley accessions against the reference gene sequence from the NCBI database (AB489121.1)

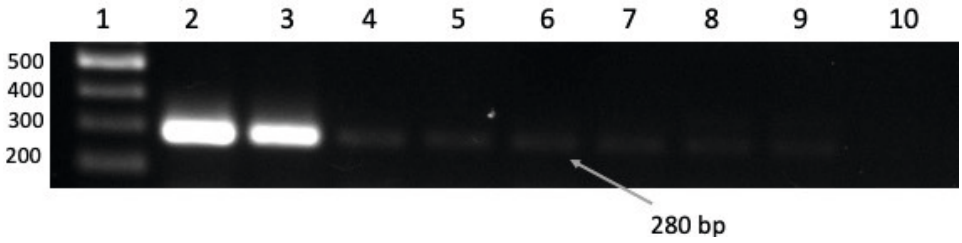


Рис. 8. Электрофоретические спектры продуктов амплификации древних образцов ДНК ячменя с праймером HvVrs4 (1 – Маркер молекулярного веса St 100; 2–9 – образцы древней ДНК ячменя; 10 – отрицательный контроль)

Fig. 8. Electrophoretic patterns of DNA amplification products from ancient barley with the primer HvVrs4 (1 – molecular weight marker St 100; 2–9 – ancient DNA samples; 10 – negative control)

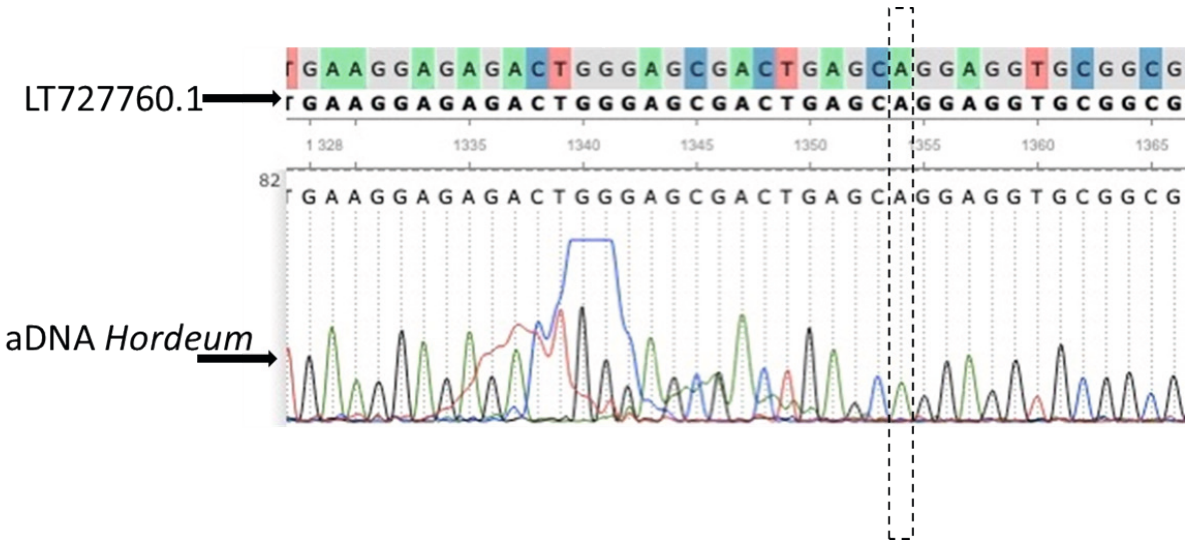


Рис. 9. Выравнивание полученных прочтений гена *Vrs1* древних образцов ячменя относительно референсной последовательности из базы данных NCBI (AB489121.1)

Fig. 9. Alignment of the obtained *Vrs1* gene reads from ancient barley against the reference sequence from the NCBI database (AB489121.1)

На основе полученных нами данных мы предполагаем, что древний ячмень обладал двурядным ломким колосом. Однако не исключен вариант, что у ячменя XII века, найденного на территории Усвятского городища, могли быть и другие перестройки в геноме, которые не удалось изучить из-за фрагментарности ДНК.

Обсуждение результатов

Проведение палеогенетических исследований ископаемых остатков растений и животных имеет свою специфику, поскольку при изучении древней ДНК высока вероятность контаминации искомой последовательности с генетическим материалом бактерий, микроорганизмов и/или современных растительных объектов. Небольшие объемы экстрагированной ДНК позволяют работать лишь с отдельными фрагментами генома (Hagelberg, Hofreiter, 2015; Semilet et al., 2023). Имеющиеся современные методологические достижения и развитие новых технологий изучения древней ДНК решают многие проблемы при постановке эксперимента (Druzhkova et al., 2015; Fulton et al., 2019).

Начало работы с дДНК было положено 40 лет назад, когда группа ученых выделила генетический материал из ископаемых останков южноафриканской лошади и установила их близкое филогенетическое родство с зебрами (Higuchi, 1984). Сегодня в качестве объектов дДНК для палеогенетических исследований могут служить кости человека и животных, копролиты, мягкие ткани, волосы, микроорганизмы и растительные остатки. Современные исследователи изучают дДНК человека, млекопитающих (Poinar et al., 2001; Poinar et al., 2006; Leonard et al., 2007; Campos et al., 2010; Reich et al., 2010; Dabney et al., 2013; Weyrich et al., 2015), а также бактерий (Willerslev et al., 2004).

Работы, связанные с палеогенетическими исследованиями растений, немногочисленны. Наиболее ценным объектом исследования являются древние семена и пыльца (Blatter et al, 2002; Bennett, Parducci, 2006). Примечательно, что качество экстрагированной дДНК зависит от условий, из которых был изъят материал. На основании современных археологических находок ученые отмечают, что семена сохраняются при высушивании, заболачивании, полном или частичном обугливании (семена «консервируются» в результате пожаров природного или антропогенного происхождения) и минерализации (кальцификации) (Fernandez et al., 2013; Wales et al., 2019). Лучше всего генетический материал сохраняется в высохших останках, так как из-за быстрой потери воды и предотвращения реакций гидролиза ДНК меньше фрагментируется. Анализ ДНК, которая экстрагирована из обугленного материала, свидетельствует о наихудшей сохранности генетического материала с низкой вероятностью восстановления (Fernandez et al., 2013). Обугленные семена серого цвета свидетельствуют о том, что исследуемые образцы перенесли очень высокую температуру по сравнению с черными (Bilgic et al., 2016).

Бóльшая часть исследований дДНК осуществляется с образцами, полученными при раскопках на территории «Дуги плодородия» – региона на Ближнем Востоке, где большинство находок составляют зерновки и колосья злаковых. Это не удивительно, так как это область, где начался сбор диких видов и появление первых одомашненных форм в керамическом неолите (Riehl et al., 2014). Поэтому многие работы по палеогенетике связаны с изучением ископаемого материала злаковых, найденных в западной части Центральной Азии, на юге Туркменистана (Charles, Bogaard, 2010), в Южной Азии (Costantini, 1984), и самых ранних находок возрастом около 9 тыс. лет в раскопе памятника Али Кош в Хузестане (Helback, 1959; Lister et al., 2013). На территории России палеогенетических работ с растительным материалом практически не проводилось.

Объектом для данного исследования послужили карбонизированные зерновки ячменя XII века, найденные при раскопках древнейшего города Северо-Запада России – Усвят. Ранее T. Semilet et al. (2023) выполнили постановку и отработку методики работы с обугленным ископаемым материалом и провели палеогенетические исследования. Удалось установить один из признаков доместикации древних ячменей – наличие дополнительных чешуй у зерновок, ассоциированное с геном *Nud*. По результатам первичного морфологического и молекулярно-генетических анализов был установлен пленчатый фенотип изучаемых образцов. Данный признак приближает древний ячмень к дикому фенотипу *H. spontaneum*. В представленном исследовании мы продолжили изучение архитектоники колоса древнего ячменя. Для реконструкции внешнего облика были выбраны гены *Btr1*, *Btr2*, *Vrs1*, ассоциированные с хозяйственно ценными признаками. Возникновение мутаций в генах *Btr1*, *Btr2* ассоциировано с появлением неломкого колоса, что облегчает уборку урожая, предотвращая потери зерна. Делеции в последовательности гена *Vrs1* определяют шестирядность ячменей, что в свою очередь связано с повышением урожайности культуры.

Изолирование дДНК, постановка амплификации с видоспецифичными праймерами, секвенирование по Сэнгеру и выравнивание с известными последовательностями из базы данных NCBI показали:

– возможность работы с ископаемым материалом, подвергшимся горению;

– пригодность видоспецифичных праймеров для выявления признаков архитектоники колоса древних ячменей XII века;

– отсутствие делеций в генах *Btr1* и *Btr2* и ломкоколосый фенотип древнего ячменя;

– отсутствие перестроек в гене *Vrs1*, ассоциированных с шестирядным фенотипом.

Перспективы использования анализа ДНК для уточнения характеристик древних «сортов» растений имеют гораздо больший потенциал. Молекулярно-генетические методы работы с дДНК, использованные в данной работе, возможно применить для изучения аллельного состояния других генов, ассоциированных с хозяйственно ценными признаками ячменя и/или других растительных объектов. Идентификация видов, происхождение, доместикация, распространение культурных растений и реконструкция популяций, населявших в прошлом определенную территорию, – вопросы, на которые невозможно ответить только с помощью морфологических археоботанических исследований.

Таким образом, по совокупности результатов настоящего исследования на основе анализа генов *Btr1*, *Btr2*, *Vrs*, а также ранее проведенного нами изучения гена *Nud* (Semilet et al., 2023) можно заключить, что в хозяйственной деятельности XII века в городище Усвяты использовали семена от растений двурядного пленчатого ломкоколосого ячменя (рис. 10).



Рис. 10. Реконструкция архитектоники колоса ячменя на основе анализа дДНК
Fig. 10. Reconstruction of the barley spike architectonics based on the aDNA analysis

Заключение

Представленные в данной статье результаты палеогенетических исследований древней ДНК ячменя XII века позволили восстановить архитектонику колоса и понять степень схожести древних форм с культурными и дикими предками рода *Hordeum*. Несмотря на процессы карбонизации древних зерновок, нам удалось выделить фрагменты дДНК и реконструировать внешний облик растения. Наличие ломкого колоса и двурядность позволяет нам сделать вывод о том, что древний ячмень, выращивавшийся нашими далекими предками, был по фенотипу и генотипу ближе к дикому виду *H. spontaneum.* Однако остаются нерешенными вопросы о возникновении ячменя на территории Усвят. Как указывалось, *H. vulgare* был одомашнен на территории Дуги плодородия. Растения при размещении на новых территориях меняют свой адаптивный потенциал в связи с воздействием факторов окружающей среды конкретного региона, что влечет за собой изменения в работе генов, ассоциированных со временем вегетации и генеративным развитием (McClung et al., 2021). Это являлось решающим фактором распространения ячменя на новые территории – от Дуги плодородия до северных широт. Необходимо в дальнейшем продолжить исследование древней ДНК для определения очага возникновения и распространения древних ячменей XII века.

References / Литература

Badr A., Sch K.M.R., El Rabey H., Effgen S., Ibrahim H.H., Pozzi C. et al. On the origin and domestication history of barley (*Hordeum vulgare*). *Molecular Biology and Evolution*. 2000;17(4):499-510. DOI: 10.1093/oxfordjournals.molbev.a026330

Bennett K.D., Parducci L. DNA from pollen: principles and potential. *The Holocene*. 2006;16(8):1031-1034. DOI: 10.1177/0959683606069383

Bilgic H., Hakki E.E., Pandey A., Khan M.K., Akkaya M.S. Ancient DNA from 8400 year-old Çatalhöyük wheat: implications for the origin of neolithic agriculture. *PLoS One*. 2016;11(3):e0151974. DOI: 10.1371/journal.pone.0151974

Blatter R.H.E., Jacomet S., Schlumbaum A. Little evidence for the preservation of a single-copy gene in charred archaeological wheat. *Ancient Biomolecules*. 2002;4(2):65-77. DOI: 10.1080/1358612021000010677

Brown T.A., Allaby R.G., Brown K.A., O'Donoghue K., Sallares R. DNA in wheat seeds from European archaeological sites. *Experientia*. 1994;50(6):571-575. DOI: 10.1007/bf01921727

Bull H., Casao M.C., Zwirek M., Flavell A.J., Thomas W.T.B., Guo W. et al. Barley *SIX-ROWED SPIKE3* encodes a putative Jumonji C-type H3K9me2/me3 demethylase that represses lateral spikelet fertility. *Nature Communications*. 2017;8(1):936. DOI: 10.1038/s41467-017-00940-7

Campos P.F., Willerslev E., Sher A., Orlando L., Axelsson E., Tikhonov A. et al. Ancient DNA analyses exclude humans as the driving force behind late Pleistocene musk ox (*Ovibos moschatus*) population dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2010;107(12):5675-5680. DOI: 10.1073/pnas.0907189107

Charles M., Bogaard A. Section 9.6. Charred plant macro-remains from Jeitun: implications for early cultivation and herding practices in western Central Asia. In: D.R. Harris (ed.). *Origins of Agriculture in Western Central Asia: an Envi-*

ronmental-Archaeological Study. Philadelphia, PA: University of Pennsylvania Museum of Archaeology and Anthropology; 2010. p.150-165.

Costantini L. The beginning of agriculture in the Kachi plain: the evidence of Mehrgarh. In: B. Allchin (ed.). *South Asian Archaeology 1981: Proceedings of the Sixth International Conference of the Association of South Asian Archaeologists in Western Europe; Cambridge University; 5–10 July 1981.* Cambridge: Cambridge University Press; 1984. p.29-33.

Dabney J., Knapp M., Glocke I., Gansauge M.T., Weihmann A., Nickel B. et al. Complete mitochondrial genome sequence of a Middle Pleistocene cave bear reconstructed from ultrashort DNA fragments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2013;110(39):15758-15763. DOI: 10.1073/pnas.1314445110

Druzhkova A.S., Vorobieva N.V., Trifonov V.A., Graphodatsky A.S. Ancient DNA: results and prospects (the 30th anniversary). *Russian Journal of Genetics.* 2015;51(6):627-643. [in Russian] (Дружкова А.С., Воробьева Н.В., Трифонов В.А., Графодатский А.С. Древняя ДНК: итоги и перспективы (к 30-летию начала исследований). *Генетика*. 2015;51(6):627-643). DOI: 10.1134/S1022795415060046

Fernandez E., Thaw S., Brown T.A., Arroyo-Pardo E., Buxó R., Serret M.D. et al. DNA analysis in charred grains of naked wheat from several archaeological sites in Spain. *Journal of Archaeological Science*. 2013;40(1):659-670. DOI: 10.1016/j.jas.2012.07.014

Fulton T.L., Shapiro B. Setting up an ancient DNA laboratory. In: B. Shapiro, A. Barlow, P.D. Heintzman, M. Hofreiter, J.L.A. Paijmans, A.E.R. Soares (eds). *Ancient DNA: Methods and Protocols*. New York, NY: Humana; 2019. p.1-13. DOI: 10.1007/978-1-4939-9176-1_1

Goloubinoff P., Pääbo S., Wilson A.C. Evolution of maize inferred from sequence diversity of an *Adh2* gene segment from archaeological specimens. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1993;90(5):1997-2001. DOI: 10.1073/pnas.90.5.1997

Goncharov N.P., Kondratenko E.Ja. Wheat origin, domestication and evolution. *The Herald of Vavilov Society for Geneticists and Breeding Scientists*. 2008;12(1-2):159-177. [in Russian] (Гончаров Н.П., Кондратенко Е.Я. происхождение, доместикация и эволюция пшениц. *Информационный вестник ВОГиС*. 2008;12(1-2):159-177).

Hagelberg E., Hofreiter M., Keyser C. Introduction. Ancient DNA: the first three decades. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*. 2015;370(1660):20130371. DOI: 10.1098/rstb.2013.0371

Harlan J.R. On the origin of barley. In: *Barley: Origin, Botany, Culture, Winter Hardiness, Genetics, Utilization, Pests. USDA Agriculture Handbook 338*. Washington, DC: USDA; 1979. p.10-36.

Helback H. Domestication of food plants in the Old World: joint efforts by botanists and archeologists illuminate the obscure history of plant domestication. *Science*. 1959;130(3372):365-372. DOI: 10.1126/science.130.3372.365

Higuchi R. Genetic study on the congenital dislocation of the hip. *The Bulletin of Tokyo Medical and Dental University*. 1984;31(4):195-207.

Hillman G. On the origins of domestic rye – *Secale cereale*: the finds from aceramic Can Hasan III in Turkey. *Anatolian Studies*. 1978;28:157-174. DOI: 10.2307/3642748

Komatsuda T., Tanno K. Comparative high resolution map of the *six-rowed spike locus 1* (*vrs1*) in several populations of barley, *Hordeum vulgare* L. *Hereditas*. 2004;141(1):68-73. DOI: 10.1111/j.1601-5223.2004.01820.x

Koppolu R., Anwar N., Sakuma S., Tagiri A., Lundqvist U., Pourkheirandish M. et al. *Six-rowed spike4* (*Vrs4*) controls spikelet determinacy and row-type in barley. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2013;110(32):13198-13203. DOI: 10.1073/pnas.1221950110

Leonard J.A., Shanks O., Hofreiter M., Kreuz E., Hodges L., Ream W. et al. Animal DNA in PCR reagents plagues ancient DNA research. *Journal of Archaeological Science*. 2007;34(9):1361-1366.

Lister D.L., Jones H., Jones M.K., O'Sullivan D.M., Cockram J. Analysis of DNA polymorphism in ancient barley herbarium material: validation of the KASP SNP genotyping platform. *Taxon*. 2013;62(4):779-789. DOI: 10.12705/624.9

Lister D.L., Jones H., Oliveira H.R., Petrie C.A., Liu X., Cockram J. et al. Barley heads east: Genetic analyses reveal routes of spread through diverse Eurasian landscapes. *PLoS One*. 2018;13(7):e0196652. DOI: 10.1371/journal.pone.0196652

McClung C.R. Circadian clock components offer targets for crop domestication and improvement. *Genes (Basel).* 2021;12(3):374. DOI: 10.3390/genes12030374

Newman C.W., Newman R.K. A brief history of barley foods. *Cereal Foods World*. 2006;51(1):4-7. DOI: 10.1094/CFW-51-0004

Okonechnikov K., Golosova O., Fursov M. Unipro UGENE: a unified bioinformatics toolkit. *Bioinformatics*. 2012;28(8):1166-1167. DOI:10.1093/bioinformatics/bts091

Pääbo S., Higuchi R.G., Wilson A.C. Ancient DNA and the polymerase chain reaction. The emerging field of molecular archaeology. *The Journal of Biological Chemistry*. 1989;264(17):9709-9712.

Pankin A., von Korff M. Co-evolution of methods and thoughts in cereal domestication studies: a tale of barley (*Hordeum vulgare*). *Current Opinion in Plant Biology*. 2017;36:15-21. DOI: 10.1016/j.pbi.2016.12.001

Poinar H.N., Kuch M., Sobolik K.D., Barnes I., Stankiewicz A.B., Kuder T. et al. A molecular analysis of dietary diversity for three archaic Native Americans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2001;98(8):4317-4322. DOI: 10.1073/pnas.061014798

Poinar H.N., Schwarz C., Qi J., Shapiro B., Macphee R.D., Buigues B. et al. Metagenomics to paleogenomics: large-scale sequencing of mammoth DNA. *Science*. 2006;311(5759):392-394. DOI: 10.1126/science.1123360

Pourkheirandish M., Hensel G., Kilian B., Senthil N., Chen G., Sameri M. et al. Evolution of the grain dispersal system in barley. *Cell*. 2015;162(3):527-539. DOI: 10.1016/j.cell.2015.07.002

Ramsay L., Comadran J., Druka A., Marshall D.F., Thomas W.T.B., Macaulay M. et al. INTERMEDIUM-C, a modifier of lateral spikelet fertility in barley, is an ortholog of the maize domestication gene TEOSINTE BRANCHED 1. *Nature Genetics*. 2011;43(2):169-172. DOI: 10.1038/ng.745

Reich D., Green R.E., Kircher M., Krause J., Patterson N., Durand E.Y. et al. Genetic history of an archaic hominin group from Denisova Cave in Siberia. *Nature*. 2010;468(7327):1053-1060. DOI: 10.1038/nature09710

Riehl S., Pustovoytov K.E., Weippert H., Klett S., Hole F. Drought stress variability in ancient Near Eastern agricultural systems evidenced by $\delta^{13}C$ in barley grain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2014;111(34):12348-12353. DOI: 10.1073/pnas.1409516111

Semilet T., Shvachko N., Smirnova N., Shipilina L., Khlestkina E. Using DNA markers to reconstruct the lifetime morphology of barley grains from carbonized cereal crop remains unearthed at Usvyaty Settlement. *Biological Communications*. 2023;68(1):3-9. DOI: 10.21638/spbu03.2023.101

Takahashi R., Hayashi J. Linkage study of two complementary genes for brittle rachis in barley. *Berichte des Ohara Instituts für landwirtschaftliche Biologie, Okayama Universität*. 1964;12(2):99-105.

Van Esse G.W., Walla A., Finke A., Koornneef M., Pecinka A., von Korff M. *Six-Rowed Spike3* (*VRS3*) is a histone demethylase that controls lateral spikelet development in barley. *Plant Physiology*. 2017;174(4):2397-2408. DOI: 10.1104/pp.17.00108

Wales N., Kistler L. Extraction of ancient DNA from plant remains. *Methods in Molecular Biology*. 2019;1963:45-55. DOI: 10.1007/978-1-4939-9176-1_6

Weyrich L.S., Dobney K., Cooper A. Ancient DNA analysis of dental calculus. *Journal of Human Evolution*. 2015;79:119-124. DOI: 10.1016/j.jhevol.2014.06.018

Willerslev E., Hansen A.J., Poinar H.N. Isolation of nucleic acids and cultures from fossil ice and permafrost. *Trends in Ecology and Evolution*. 2004;19(3):141-147. DOI: 10.1016/j.tree.2003.11.010

Youssef H.M., Eggert K., Kopplu R., Alqudah A.M., Poursarebani N., Fazeli A. et al. *VRS2* regulates hormone-mediated inflorescence patterning in barley. *Nature Genetics*. 2017;49:157-161. DOI: 10.1038/ng.3717

Информация об авторах

Татьяна Вячеславовна Семилет, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, t.semilet@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0001-7275-3878

Наталья Витальевна Смирнова, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, n.smirnova@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0001-9480-8737

Наталия Альбертовна Швачко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, n.shvachko@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-1958-5008

Ольга Николаевна Ковалева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, o.kovaleva@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-3990-6526

Елена Константиновна Хлесткина, доктор биологических наук, профессор РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, руководитель направления «Биология и биотехнология растений», Научно-технологический университет «Сириус», Научный центр генетики и наук о жизни, 354340 Россия, Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», пгт. Сириус, Олимпийский пр., 1, director@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-8470-8254

Information about the authors

Tatyana V. Semilet, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, t.semilet@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0001-7275-3878

Natalia V. Smirnova, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, n.smirnova@vir.nw.ru, https://orcid. org/0000-0001-9480-8737

Nataliya A. Shvachko, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Head of a Laboratory, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, n.shvachko@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-1958-5008

Olga N. Kovaleva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, o.kovaleva@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-3990-6526

Elena K. Khlestkina, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, Plant Biology and Biotechnology Research Manager, Sirius University of Science and Technology, Research Center of Genetics and Life Sciences, 1 Olimpiysky Ave., Sirius Settlem., Sirius Federal Territory, Krasnodar Territory 354340, Russia, director@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0002-8470-8254

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 04.04.2024; одобрена после рецензирования 05.08.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 04.04.2024; approved after reviewing on 05.08.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ

Научная статья
УДК 582.711.31-154.3(571.63):575.2
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-210-223

CC BY

Находка смородины из секции *Eucoreosma* (Grossulariaceae) в центральной части юга Приморского края (Российская Федерация)

Л. А. Федина[1], М. А. Полежаева[2], Д. Р. Юнусова[2], М. Н. Колдаева[3], А. Ш. Сабитов[4]

[1] Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

[2] Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

[3] Ботанический сад-институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

[4] Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дальневосточная опытная станция – филиал ВИР, Владивосток, Россия

Автор, ответственный за переписку: Любовь Александровна Федина, triton.54@mail.ru

Актуальность. Усиливающееся антропогенное воздействие на природные популяции редких, а особенно исчезающих видов растений, в последнее время становится все агрессивнее. Тем более значимо обнаружение небольшой популяции смородины из секции *Eucoreosma* (Spach) Jancz. в естественной среде обитания на юге Приморского края. Ранее ни один из видов черных смородин для этих мест не указывался.
Материалы и методы. Проведено сравнение растений из нового местонахождения с образцами *Ribes nigrum* L., *R. ussuriense* Jancz., *R. pauciflorum* Turcz. ex Pojark., *R. fontaneum* Boczkarn. при помощи морфологического и молекулярно-генетического методов.
Результаты и заключение. Молекулярно-генетический анализ по двум фрагментам хлоропластной ДНК исключил принадлежность найденных особей к *R. nigrum* и *R. fontaneum*. Различия во фрагментах хлоропластной ДНК между обнаруженными растениями и образцами *R. ussuriense* и *R. pauciflorum* не были выявлены. Ряд морфологических черт указывает на возможность отнесения особей *Ribes* sp. к редкому виду *R. ussuriense*, для которого ранее указывались единичные местонахождения на юге Приморского края. Выявленные различия по фрагментам хлоропластной ДНК между сибирско-дальневосточным видом *R. pauciflorum* и европейско-сибирским видом *R. nigrum* ставят под сомнение их объединение, основанное только на морфологических признаках, и требуют дальнейшего исследования.

Ключевые слова: морфология, редкий вид, флористическая находка, хорология, хпДНК, *Ribes*, *Ribes ussuriense*

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации:
Федеральному научному центру биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, тема № 124012200183-8 «Интродукция, экология и охрана флоры и фауны юга Дальнего Востока России»;
Институту экологии растений и животных УрО РАН, тема № 122021000090-5 «Анализ генетического разнообразия для исследования микроэволюционных процессов у представителей типичных растительных сообществ Северной Азии»;
Ботаническому саду-институту ДВО РАН, тема №122040800085-4 «Аборигенная и инвазионная флора Восточной Азии: трансформация в условиях возрастающей антропогенной нагрузки на экосистемы»;
Федеральному исследовательскому центру Всероссийскому институту генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, проект № FGEM-2022-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции».
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Федина Л.А., Полежаева М.А., Юнусова Д.Р., Колдаева М.Н., Сабитов А.Ш. Находка смородины секции *Eucoreosma* (Grossulariaceae) в центральной части юга Приморского края (Российская Федерация). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):210-223. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-210-223

© Федина Л.А., Полежаева М.А., Юнусова Д.Р., Колдаева М.Н., Сабитов А.Ш., 2024

IDENTIFICATION OF THE DIVERSITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES FOR SOLVING FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-210-223

The finding of black currants from sect. *Eucoreosma* (Grossulariaceae) in the central part of southern Primorsky Territory, Russia

Lubov A. Fedina[1], Maria A. Polezhaeva[2], Diana R. Iunusova[2], Marina N. Koldaeva[3], Andrei Sh. Sabitov[4]

[1] *Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia*

[2] *Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Science, Yekaterinburg, Russia*

[3] *Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia*

[4] *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Far Eastern Experimental Station – branch of VIR, Vladivostok, Russia*

Corresponding author: Lubov A. Fedina, triton.54@mail.ru

Background. The ever increasing anthropogenic impact on natural populations of rare and, especially, endangered plant species has recently become even more forceful. Therefore, the finding of a small black currant population representing sect. *Eucoreosma* (Spach) Jancz. within a natural environment in the south of Primorsky Territory appears highly important. Previously, none of the black currant species was recorded as occurring in this area.
Materials and methods. Plants from the new locality were compared with accessions of *Ribes nigrum* L., *R. ussuriense* Jancz., *R. pauciflorum* Turcz. ex Pojark., and *R. fontaneum* Boczkarn. using morphological and molecular genetics techniques.
Results and conclusion. A molecular genetics analysis of two chloroplast DNA fragments excluded any association of the discovered plants with *R. nigrum* or *R. fontaneum*. Meanwhile, no differences in chloroplast DNA fragments were found between these plants and *R. ussuriense* and *R. pauciflorum* accessions. A number of morphological features attested to a possibility to attribute the finding to the rare species *R. ussuriense*: its isolated localities had previously been reported in southern Primorsky Territory. The differences in chloroplast DNA fragments between the Siberian/Far Eastern species *R. pauciflorum* and the European/Siberian species *R. nigrum* make doubtful their possible fusion, based only on morphological characters, and require further studies.

Keywords: morphology, rare species, floristic find, chorology, cpDNA, *Ribes*, *Ribes ussuriense*

Acknowledgements: the research was carried out within the state task assigned by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation to:
– the Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of the RAS, Project No. 124012200183-8 “Introduction, ecology, and protection of flora and fauna in the south of the Russian Far East”;
– the Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the RAS, Project No. 122021000090-5 “Analysis of genetic diversity for the study of microevolutionary processes in representatives of typical plant communities in North Asia”;
– the Botanical Garden-Institute, Eastern Branch of the RAS, Project No. 122040800085-4 “Indigenous and invasive flora of East Asia: transformation under the conditions of increasing anthropogenic pressure on ecosystems”;
– the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Project No. FGEM-2022-0004 “Improving the approaches and methods for *ex situ* conservation of the identified genetic diversity of vegetatively propagated crops and their wild relatives, and development of technologies for their effective utilization in plant breeding”.
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Fedina L.A., Polezhaeva M.A., Iunusova D.R., Koldaeva M.N., Sabitov A.Sh. The finding of black currants from sect. *Eucoreosma* (Grossulariaceae) in the central part of southern Primorsky Territory, Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):210-223. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-210-223

Введение

Род *Ribes* L. (Смородина), согласно современной трактовке, включает в себя около 150 видов, распространенных в умеренной зоне северного полушария и в Южной Америке (Sinnott, 1985; Senters, Soltis, 2003; Schultheis, Donoghue, 2004). На Дальнем Востоке Российской Федерации насчитывается 17 видов собственно смородин *Ribes* s. st. (Kharkevich, 1988; Usenko, 2009). Таксономический статус некоторых из них носит спорный характер. Одним из наиболее редких видов является *R. ussuriense* Jancz. Вид описывается как эндемик юга Восточно-Маньчжурских гор (Urusov, Lobanova, 2018). За пределами России он распространен в Корее (Vorobyev, 1968, Kitagawa, 1979; Kharkevich, 1988; A synonymic list…, 2007; Lee, 2007). Указание для флоры Китая (Vorobyev, 1968, Kharkevich, 1988) является ошибочным (Lu, Crinan, 2001). По данным Красной книги Приморского края (Nedoluzhko et al., 2008), *R. ussuriense* имеет статус «На грани исчезновения. Вид на границе ареала» (CR). Единственный сбор этого редчайшего растения на территории Российской Федерации был произведен в тридцатые годы прошлого века в районе р. Нежинки (приток р. Раздольной) Надеждинского района у юго-западных границ Приморского края (Vorobyev, 1968; Kharkevich, 1988).

Обнаружение в центральной части юга Приморского края – в окрестностях Уссурийского государственного природного заповедника им. В.Л. Комарова (ФГБУ «Земля леопарда») в природных местообитаниях смородины с душистыми листьями, имеющими камфорный запах, – позволило предположить, что найденная смородина может относиться к *R. usssuriense*, для которой камфорный запах считается видоспецифичным (определяющим) признаком.

В пределах Уссурийского заповедника и на сопредельных с ним территориях до настоящего времени было известно, не считая посадок *R. grossularia* L. на заброшенной усадьбе, шесть видов смородин. Все они имеют плоды красного цвета и не пахучие листья: *R. komarovii* Pojark., *R. mandshuricum* (Maxim.) Kom. (из секции *Berisia* Spach), *R. maximoviczianum* Kom., *R. pallidiflorum* Pojark., *R. palczewskii* (Jancz.) Pojark., *R. triste* Pall. (из секции *Ribes* L.) (Fedina, 2017). Из них наиболее часто встречаются *R. mandshuricum* и *R. maximoviczianum.* Виды *Ribes* из секции черных смородин *Eucoreosma* (Spach) Jancz. для исследуемой территории ранее не указывались. Также они не отмечены на территории юга Приморского края в списках флоры других ООПТ: Дальневосточного морского биосферного государственного природного заповедника (ФГБУ «Земля леопарда») (Chubar et al., 2004), Лазовского государственного заповедника им. Л.Г. Капланова (ФГБУ «Объединенная дирекция Лазовского заповедника и национального парка «Зов тигра») (Taran, 2002), заповедника «Кедровая падь» (ФГБУ «Земля леопарда») (Korkishko, 2002), а также при исследовании локальных флор. Не увенчался успехом поиск видов из секции *Eucoreosma* в национальном парке «Земля леопарда» (Marchuk, 2021). Обнаруженные растения секции *Eucoreosma* из-за отсутствия образцов, находящихся в стадии цветения, по морфологическим признакам вегетативных органов были определены, предположительно, как *R. usssuriense*. Известно, что молекулярно-генетические методы помогают разрешить многие вопросы при идентификации растительного материала (Pikunova et al., 2012). *С целью более точного установления видовой принадлежности образцов найденной смородины* проведено морфологическое, хорологическое и молекулярно-генетическое сравнение с близкородственными видами.

Материал и методы исследования

Географическое расположение и характеристика местообитания найденного вида смородины

Уссурийский государственный природный заповедник располагается в центральной части юга Приморского края. Осенью 2018 г. в окрестностях с. Кайгановка (Приморский край, Уссурийский г. о.) на сопредельной с Уссурийским заповедником территории Л. А. Федина впервые обнаружила особи душистой смородины (рис. 1).

Растения произрастали на надпойменной террасе р. Барсуковки (бассейн р. Раздольной) (43°38’19.5”N, 132°14’28.1”E, 37 м н. у. м.) под пологом долинного дубово-кедрового с бархатом амурским леса (рис. 2).

Общая высота древостоя составляла 25 м, сомкнутость крон – 75%. В первом ярусе древостоя преобладали: *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc., *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb., *Juglans mandshurica* Maxim., *Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg., *Acer mono* Maxim., *Phellodendron amurense* Rupr. Во втором ярусе: *Fraxinus mandshurica* Rupr., *Padus maackii* (Rupr.) Kom., *Salix abscondita* Laksch. В кустарниковом ярусе, кроме смородины, произрастали: *Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim., *Philadelphus tenuifolius* Rupr. et Maxim., *Deutzia amurensis* (Regel) Airy Shaw. Основу травостоя составляли: *Urtica angustifolia* Fisch. ex Hornem. и *Carex* sp. Около 10 кустов смородины росли одиночно на незначительном расстоянии друг от друга. Обнаруженные особи находились в вегетирующем состоянии, в последующие годы цветение также не наблюдалось. Вероятной причиной отсутствия цветения могли стать критические для данного вида холодные бесснежные зимы (в зимний период 2018–2019 гг. сумма осадков составила всего 15,9 мл), приводившие к обмерзанию побегов и замещению их молодыми порослевыми побегами. Собранный гербарный образец передан в региональный гербарий Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (VLA), дубликаты гербария отправлены в Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН (LE) и Ботанический сад-институт ДВО РАН (VBGI).

Морфологический анализ

Материалами для морфологического анализа послужили описания видов смородины из секции *Eucoreosma*, приведенные в таксономической и флористической литературе (Janczewski, 1906, 1907; Poyarkova, 1939; Pavlova, 1955; Vorobyev, 1968; Bochkarnikova, 1973; Voroshilov, 1982; Kharkevich, 1988; Malyshev, 1994; Sabitov, 1994; Usenko, 2009), а также гербарный образец *R. ussuriense*, хранящийся в Федеральном научном центре биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (VLA), живой образец этого же вида из коллекции Дальневосточной опытной станции ВИР (г. Владивосток), гербарные образцы трех родственных видов (*R. nigrum* L. – 5 образцов, *R. pauciflorum* – 40 образцов, *R. fontaneum* Boczkarn. – 40 образцов) из коллекции Гербария Ботанического сада-института ДВО РАН (VBGI) и Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (VLA), живые и гербарные образцы обнаруженного вида смородины *Ribes* sp. (3 образца). Сравнение проводилось только по вегетативным частям

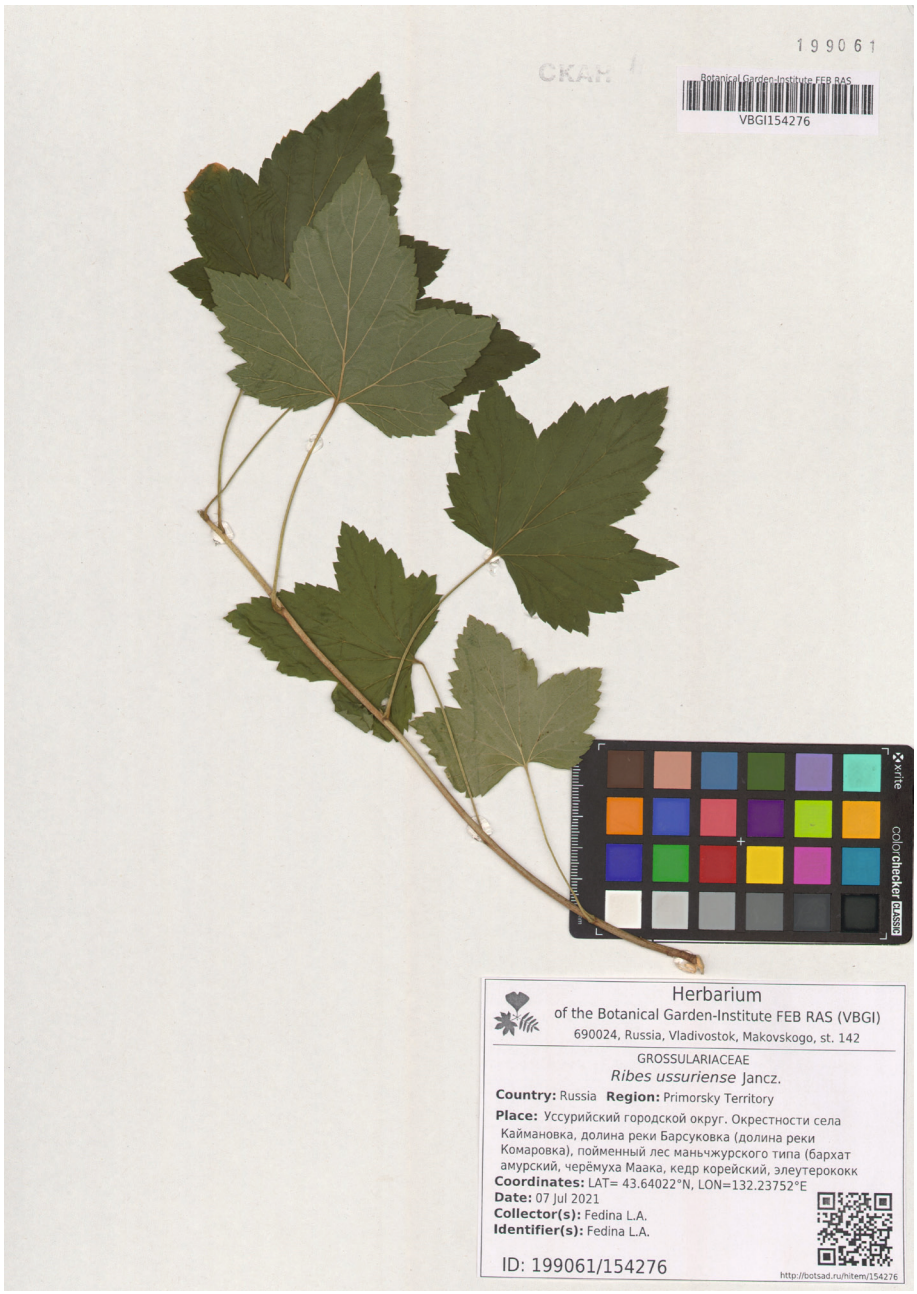


Рис. 1. Гербарный образец найденной смородины *Ribes ussuriense*
Fig. 1. Herbarium specimen of a found *Ribes ussuriense* plant

растений, так как за весь период наблюдений (2018–2024 гг.) у особей найденной смородины ни разу не наблюдалось цветение.

Молекулярно-генетические методы

Из опубликованных источников (Messinger et al., 1999; Senters, Soltis, 2003) известно, что для рода *Ribes* участки ITS (Internal Transcribed Spacer) ядерной ДНК хорошо выявляют различия на уровне групп видов, таких как секции, и менее эффективны в отношении близкородственных видов. Поэтому мы протестировали хлоропластные маркеры, как уже использовавшиеся в исследованиях рода *Ribes*, так и универсальные для высших растений. По результатам тестирования для молекулярно-генетического анализа были выбраны два фрагмента хлоропластной ДНК (*atp*B-*rbc*L и *psb*K-*psb*I), показавшие наибольшую изменчивость нуклеотидных последовательностей у исследуемых видов.

Проанализировали три образца смородины, собранные в долине р. Барсуковки (*Ribes* sp1, *Ribes* sp2, *Ribes* sp3). В качестве контрольных были выбраны образцы *R. ussuriense*, *R. pauciflorum*, *R. nigrum* из коллекции Дальневосточной опытной станции ВИР (ДВОС ВИР). Дополнительно исследовали образцы *R. pauciflorum*, *R. fontaneum* и *R. nigrum* из естественных мест произрастания и образец культурной черной смородины неизвестного сорта. Для построения филогенетического дерева также исследовали образцы других видов смородин, произрастающих на российском Дальнем Востоке (табл. 1).

ДНК выделяли по стандартному протоколу для растительных тканей (CTAB-метод) (Devey et al., 1996) из высушенных в силикагеле листьев или из гербарных образцов. Амплификацию фрагментов хлоропластной ДНК проводили с использованием праймеров и температурного профиля, указанных авторами для маркерных фрагментов *atp*B-*rbc*L (Manen et al., 1994) и *psb*K-*psb*I (Lahaye

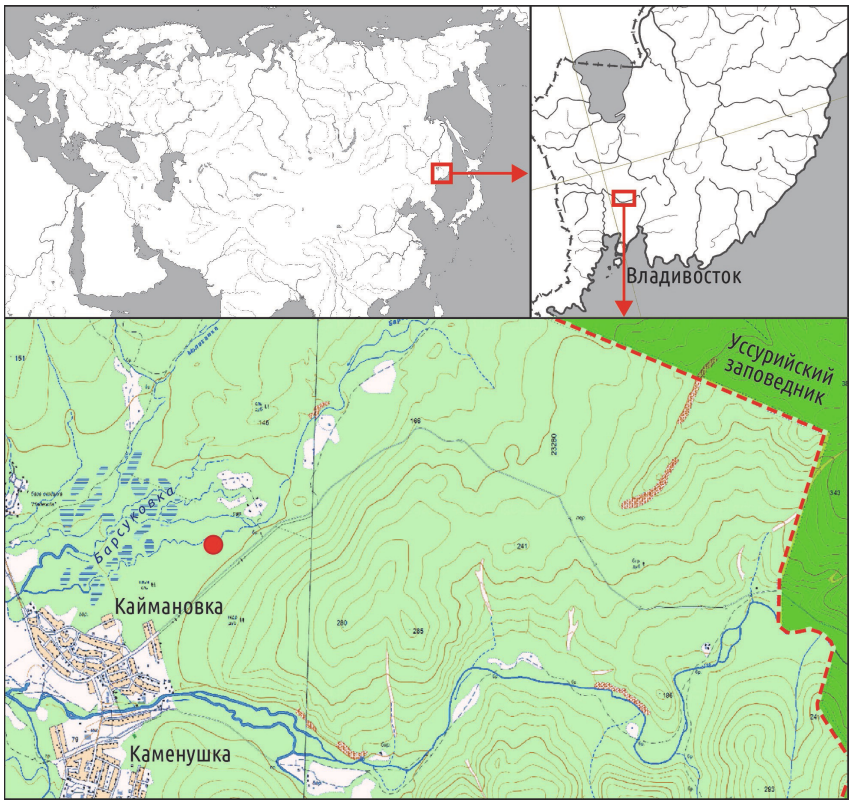


Рис. 2. Местонахождение найденной смородины *Ribes ussuriense* Jancz.
(красная точка – местонахождение; пунктирная линия – граница Уссурийского заповедника)

Fig. 2. Locality of the found *Ribes ussuriense* Jancz. population
(red dot is the locality; dotted line is the border of the Ussuriysky Nature Reserve)

et al., 2008). Продукты амплификации очищали с помощью набора ферментативной очистки Ex-Pure (Nimagen, Голландия). Использованный температурный профиль для секвенирующей реакции состоял из первоначальной денатурации при 95°C в течение 5 мин и 45 циклов амплификации: 95°C – 30 с, 50°C – 15 с, 58°C – 3 мин; далее следовало охлаждение до 4°C. Продукты секвенирующей реакции анализировали путем капиллярного электрофореза с использованием генетического анализатора НАНОФОР-05 («Синтол», Россия). Полученные последовательности выравнивали вручную в программе BioEdit (Hall, 1999). Последовательности фрагментов гаплотипов размещены в GenBank под номерами доступа: для гаплотипа h1 фрагмент *atp*B-*rbc*L – OP599929–OP599931, PP025360-PP025361; для *psb*K-*psb*I – OP599934–OP599936, PP034524-PP034525; для гаплотипа h2 фрагмент *atp*B-*rbc*L – OP599932; для *psb*K-*psb*I – OP599937; для гаплотипа h3 фрагмент *atp*B-*rbc*L – OP599933; фрагмент *psb*K-*psb*I – OP599938; для гаплотипа h4 фрагмент *atp*B-*rbc*L – OQ302172; для *psb*K-*psb*I – OQ302171.

Филогенетическое дерево образцов строили в программе MEGA6 (Tamura et al., 2013) методом максимального правдоподобия (ML) с использованием 1000 реплик для бутстреп-поддержки. Для сравнения в дерево были добавлены секвенированные нами по тем же двум фрагментам хлоропластной ДНК образцы некоторых других смородин, произрастающих на российском Дальнем Востоке – *R. pallidiflorum* (номера в GenBank для *atp*B-*rbc*L – PP025370; для *psb*K-*psb*I – PP034534); *R. mandshuricum* (PP025367 + PP034531); *R. triste* (PP025368 + PP034532); *R. maximoviczianum* (PP025372 + PP034536); *R. latifolium* (PP025369 + PP034533); *R. fragrans* (PP025363 + PP034527), а также был добавлен образец *R. nigrum*, для которого имеется полностью секвенированный геном хлоропластной ДНК (NC080517) в GenBank. В качестве аутгруппы использованы соответствующие фрагменты из полного хлоропластного генома *Mitella diphylla* (MN496071) (Saxifragaceae).

Результаты и обсуждение

Хорология видов *Ribes* из секции *Eucoreosma* во флоре российского Дальнего Востока

На территории российского Дальнего Востока в диком виде произрастают шесть видов смородин, относящихся к секции *Eucoreosma*: *R. fragrans* Pall., *R. procumbens* Pall., *R. dikuscha* Fisch. ex Turcz., *R. ussuriense*, *R. pauciflorum*, *R. fontaneum* (Kharkevich, 1988). В дальневосточном секторе своих ареалов перечисленные виды имеют различную географическую и экологическую приуроченность. На территории Приморского края достоверно установлено произрастание трех из них – *R. ussuriense*, *R. pauciflorum* и *R. fontaneum*. Евроазиатский вид *R. nigrum* в нативном виде для Приморского края не приводится (Kharkevich, 1988), однако часто регистрируется как «ушедший из культуры» возле заброшенных садовых насаждений.

R. fontaneum – сихотэ-алинский монтанный вид, эндемик. Растет по горным склонам, по берегам горных ключей и ручьев под пологом темнохвойных и смешанных лесов, на севере ареала встречается и в долинных лесах (Bochkarnikova, 1973; Kharkevich, 1988; Kryukova, 2013).

R. pauciflorum – восточно-сибирско-дальневосточный лесной вид, растет по горным и пойменным хвойным и смешанным лесам, по опушкам, гарям, каменистым

Таблица 1. Перечень образцов видов *Ribes*, исследованных молекулярно-генетическим методом
Table 1. List of accessions of *Ribes* spp. analyzed using molecular genetics techniques

Вид	Место сбора образца	Место хранения образца
Sect. *Eucoreosma* (Spach) Jancz.		
Ribes sp.	Приморский край, Уссурийский г. о., долина р. Барсуковки	VBGI
R. ussuriense Jancz.	Приморский край, Дальнегорский р-н, 1980-е годы	ДВОС ВИР
R. pauciflorum Turcz. ex Pojark.	Приморский край, Красноармейский р-н, руч. Снежный.	VBGI
R. pauciflorum Turcz. ex Pojark.	Забайкальский край, 2015 г.	ДВОС ВИР
R. nigrum L.	Алтайский край, 1970–1980-е годы	ДВОС ВИР
R. nigrum L	Читинская область	VBGI
Черная смородина, сорт.	Приусадебный участок	–
R. fontaneum Boczkarn.	Приморский край, Красноармейский р-н, плато Озерное	VBGI
R. fragrans Pall.	Читинская область	VBGI
Sect. *Berisia* Spach		
R. maximoviczianum Kom.	Приморский край, Красноармейский р-он, окр. пос. Восток, НП Бикин, ручей Леснуха	VBGI
Sect. *Ribes* L.		
R. latifolium Jancz.	Сахалинская обл., Смирныховский р-н, окр. пос. Первомайский, гора Вайда.	VBGI
R. mandshuricum (Maxim.) Kom.	Приморский край, окр. Владивостока, о-в Рейнеке	VBGI
R. pallidiflorum Pojark.	Приморский край, Тернейский р-он, оз. Сатурн	VBGI
R. triste Pall.	Приморский край, Красноармейский р-он, окр. пос. Восток	VBGI

Примечание: систематика рода *Ribes* дана по Q. P. Sinnott (1985)
Note: taxonomy of the genus *Ribes* is given according to Q. P. Sinnott (1985)

склонам, изредка – скалам (Kharkevich, 1988; Malyshev, 1994; Starchenko, 2008; Kryukova, 2013; Melnikova, 2015).

R. ussuriense – корейско-китайский неморально-лесной вид. В Приморском крае указывается только для крайнего юго-запада (Vorobyev, 1968; Kharkevich, 1988; Usenko, 2009).

На юге Приморского края есть вероятность встретить все три перечисленных вида из секции *Eucoreosma*. Распространение *R. fontaneum* тяготеет к восточному макросклону Сихотэ-Алиня, по юго-восточным отрогам которого вид достигает горы Синей на Партизанском хребте (Лазовский район). По нашим наблюдениям, у южной границы ареала этот монтанный вид обитает по берегам холодных горных ручьев, не спускаясь ниже 800 м н. у. м. По этой причине вероятность его произрастания у южной граница ареала на низких гипсометрических уровнях и в не свойственных данному виду экотопах – в пойменном лесу в бассейне реки Раздольной (Уссурийский г. о.) – исключительно мала. *R. pauciflorum* чаще встречается в северных районах Приморского края; в южной половине края известные местообитания этой смородины малочисленны и сосредоточены преимущественно на западном макросклоне Сихотэ-Алиня и в западных районах (Дальнереченский, Чугуевский, Спасский, Хорольский). *R. ussuriense* – очень редкое для флоры Приморского края растение. В литературе имеются сведения, указывающие на его возможное произрастание в пойме р. Борисовки к северу от п. Горного и в долине р. Нежинки (Надеждинский район) (Kharkevich, 1988; Nedoluzhko et al., 2008). Эколого-фитоценотические условия указанных местонахождений сходны с условиями обитания найденного вида. Исходя из особенностей хорологии и экологии видов секции *Eucoreosma*, произрастающих на юге Приморского края, найденный в пойме р. Барсуковки вид с большой вероятностью может принадлежать как к *R. pauciflorum* или *R. ussuriense*, так и к сортам *R. nigrum*, «ушедшим из культуры».

Анализ морфологических признаков видов *Ribes* из секции *Eucoreosma*, произрастающих в Приморском крае

Характеристика морфологических признаков найденных растений *Ribes* дана в таблице 2.

Сравнительно-морфологический анализ вегетативных органов показал, что найденная смородина отличается от *R. fontaneum* габитусом куста и ветвлением побегов, расположением побегов и цветом их коры, наличием

Таблица 2. **Сравнение основных морфологических признаков аборигенных и культивируемых видов *Ribes* L. секции *Eucoreosma* (Spach) Jancz., произрастающих на юге Приморского края**

Table 2. **Comparison of the main morphological characters among indigenous and cultivated *Ribes* spp. growing in southern Primorsky Territory**

Признак		Характеристика признака*				
		Ribes* sp.*	***R. fontaneum***	***R. nigrum***	***R. pauciflorum***	***R. ussuriense***
Высота куста, м		1–1,2	1,2–1,5 (2,5)	1–1,3	0,8–1,5 (2)	1–1,5
Габитус куста		полураскидистый	рыхлый, разреженный	от сжатого до раскидистого	раскидистый или полураскидистый	полураскидистый
Габитус и ветвление побегов		побеги тонкие, разветвленные	побеги мощные, сильнорослые, толстые, приподнимающиеся, слабо разветвленные	побеги крепкие, ветвящиеся	побеги тонкие, реже крепкие, разветвленные	побеги тонкие, густо ветвящиеся
Наличие корневищной поросли		образует поросль	поросль отсутствует	поросль отсутствует	часто образует поросль	образует обильную поросль
Побеги до одревеснения	окраска	от желтовато-серой до золотисто-коричневой	зеленая, иногда с фиолетовым оттенком	светло-желтая или коричневатая	желтовато-серая или золотисто-коричневая	золотисто-желтая
	поверхность	курчаво опушенная, с янтарными железками	голая, с янтарными железками и восковым налетом	опушенная	курчаво опушенная, с янтарными железками	опушенная, с янтарными железками
Побеги одревесневшие, окраска		серая	золотисто-коричневая, красновато- или темно-коричневая	коричневатая или красновато-коричневая	серая или красновато-коричневая	серая
Почки	длина, мм	3–6	7–9 (18)	4–7	3–6	3–6
	форма	продолговато-яйцевидная с островатой верхушкой	продолговатая или яйцевидная, с тупой верхушкой	яйцевидная или почти коническая	яйцевидная, реже продолговатая или когтевидная, верхушка заостренная	яйцевидная
	окраска	светло-зеленая или желтовато-зеленая	золотисто- или зеленовато-коричневая, иногда с малиновыми штрихами	золотисто-желтая или розоватая, реже красная или зеленая	светло-зеленая, желтовато-зеленая или белесая	светло-зеленая
	поверхность	коротко белоопушенная и с янтарными железками у верхушки	голая, с волосками и янтарными железками у верхушки	почти голая или коротко опушенная, с янтарными железками у верхушки	коротко белоопушенная, у верхушки с янтарными железками	коротко белоопушенная неравномерно или только у верхушки, с янтарными железками

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continued

Признак		Характеристика признака*				
		Ribes* sp.*	***R. fontaneum***	***R. nigrum***	***R. pauciflorum***	***R. ussuriense***
Лист	размер, см	5–9 дл., 6–9,5 шир.	10 (20) дл., 15 (27) шир.	8–10 (12) дл. и шир.	6 (15) дл., 7 (17) шир.	4–8 дл., 4,5–10 шир.
	окраска	зеленая, матовая или со слабым блеском	светло-зеленая, матовая	зеленая, матовая или с блеском	зеленая, матовая или с блеском	зеленая, матовая
	консистенция	плотная	тонкая	плотная	более или менее плотная	плотная
	форма	3–5-лопастная	3–5-лопастная	3–5-лопастная	3–5-лопастная	3–5-лопастная
	лопасти	яйцевидные, туповатые, острые или с оттянутой верхушкой, средняя лопасть крупнее боковых	треугольные или яйцевидные, острые или с оттянутой верхушкой, средняя лопасть немного крупнее боковых,	широко-треугольные, острые, средняя лопасть нередко вытянутая	яйцевидные, яйцевидно-треугольные, острые или туповатые, средняя лопасть крупнее боковых	остро-треугольные, средняя лопасть крупнее боковых
	основание пластинки	сердцевидное или слабосердцевидное, черешковая выемка обычно открытая	глубокосердцевидное, нередко с закрытой черешковой выемкой	от прямого до глубокосердцевидного, иногда с треугольным выступом или закрытой черешковой выемкой	сердцевидное, глубокосердцевидное или прямое, черешковая выемка обычно открытая	сердцевидное, черешковая выемка обычно открытая
	край листа	острозубчатый или двоякопильчатый, с извилистыми волосками по краю	от острозубчатого до широкогородчатого, с тонкими длинными волосками по краю	двоякопильчатый, зубцы остроконечные	острозубчатый или двоякопильчатый, с курчавыми или извилистыми волосками по краю	острозубчатый или двоякопильчатый, с извилистыми волосками по краю
	верхняя поверхность	рассеянно-волосистая, с рассеянными железками	голая или с рассеянными волосками вдоль края; с рассеянными железками	голая	голая или рассеянно-волосистая, с рассеянными железками	голая или рассеянно-волосистая, с рассеянными железками
	нижняя поверхность	с курчавым опушением по жилкам и янтарными железками	голая, по основным жилкам рассеянно опушенная тонкими длинными волосками, с янтарными железками	с опушенными жилками и янтарными железками	с курчавым опушением по жилкам и янтарными железками	с курчавым опушением по жилкам и янтарными железками
	запах	камфорный	от смородинового до резкого мускусного	смородиновый	от смородинового до камфорного	камфорный сильный

Таблица 2. Окончание

Table 2. The end

Признак		Характеристика признака*				
		Ribes sp.**	*R. fontaneum*	*R. nigrum*	*R. pauciflorum*	*R. ussuriense*
Черешок	длина, см	5–8	9–12 (16)	3–5	4,5–5	3,5–5,5
	окраска	светло-зеленая	светло-зеленая, часто с фиолетовым оттенком	светло-зеленая	светло-зеленая, иногда с фиолетовым оттенком	светло-зеленая
	поверхность	густо курчавоопушенная, с рассеянными янтарными железками	рассеянно опушенная тонкими извилистыми волосками или почти голая, с янтарными железками,	опушенная, с янтарными железками	густо курчавоопушенная, с рассеянными янтарными железками	густо курчавоопушенная, с рассеянными янтарными железками

Примечание: * – характеристика составлена на основе литературных сведений (Janczewski, 1906, 1907; Poyarkova, 1936, 1939; Pavlova, 1955; Voroshilov, 1966, 1982; Bochkarnikova, 1967, 1973; Vorobyev, 1968; Kharkevich, 1988; Malyshev, 1994; Sabitov, 1994; Usenko, 2009) и гербарных материалов; ** – *Ribes* sp. – найденные образцы смородины

Note: * – descriptions are based on published sources (Janczewski, 1906, 1907; Poyarkova, 1936, 1939; Pavlova, 1955; Voroshilov, 1966, 1982; Bochkarnikova, 1967, 1973; Vorobyev, 1968; Kharkevich, 1988; Malyshev, 1994; Sabitov, 1994; Usenko, 2009), and herbarium materials; ** –*Ribes* sp. – black currant samples discovered

гипогеогенных корневищ и корневищной поросли (см. табл. 2). Почки и листья более мелкие, листья с более узкой пластинкой и более плотные. Отличается рисунок распределения опушения по пластинке и сам характер волосков, особенно на черешках (см. табл. 2). Виды хорошо различаются по запаху эфирных масел. У найденного вида он камфорный, у *R. fontaneum* варьирует от смородинового до резкого мускусного.

Отличия найденной смородины от *R. nigrum* не столь выраженные, они касаются габитуса куста, толщины побегов, цвета коры, формы почек и их окраски, наличия гипогеогенных корневищ и корневищной поросли (см. табл. 2). Найденный вид отличается формой лопастей листа и менее развитой сетью выступающих жилок на нижней стороне пластинки, характером опушения, наличием камфорного запаха.

Сравнение признаков вегетативных органов найденной смородины с *R. pauciflorum* обнаруживает их большое сходство (см. табл. 2). Учитывая охарактеризованный диапазон изменчивости признаков *R. pauciflorum*, проявляющийся в пределах достаточно обширного ареала вида, среди различий следует отметить у найденных образцов *Ribes* sp. меньшие размеры листа, серую окраску старых побегов и более выраженный камфорный запах. У исследованных образцов *R. pauciflorum* запах эфирных масел варьировал от смородинового до смешанного смородиново-камфорного и камфорного.

Отличия найденной смородины от проанализированных образцов *R. ussuriense* выражены в наименьшей степени (см. табл. 2). В целом морфология *R. ussuriense* очень близка к таковой *R. pauciflorum*, и ряд исследователей, в том числе Н. М. Павлова (Pavlova, 1955) и А. Ш. Сабитов (Sabitov, 1994), считают, что признаки, по которым разделяют *R. ussuriense* и *R. pauciflorum*, укладываются в рамки изменчивости последнего.

Как показали проведенные ранее (Poyarkova, 1939; Pavlova, 1955; Vorobyev, 1968; Bochkarnikova, 1973; Voroshilov, 1982; Kharkevich, 1988; Malyshev, 1994; Sabitov, 1994; Usenko, 2009) и наши исследования, многие евразийские виды из секции *Eucoreosma* имеют значительное сходство в строении вегетативных органов: размере и габитусе куста, окраске, морфологии поверхности неодревесневших и одревесневших побегов, форме листовой пластинки и ее лопастей, характере зубчатости края, степени железистости и морфологии поверхности абаксиальной и адаксиальной сторон листа, черешка. Ряд признаков, таких как наличие пурпурных оттенков в окраске листа и черешка, присутствие воскового налета, хорошо различимые в нативном состоянии и используемые для идентификации живых растений, в полевых условиях, как правило, полностью утрачиваются при гербаризации. Кроме того, признаки вегетативных органов, особенно относящиеся к листу, имеют значительную изменчивость, как было продемонстрировано на примере *R. pauciflorum* (Sabitov, 1994), что затрудняет создание кратких и ясных описаний видов и диагностических ключей, позволяющих проводить точную идентификацию образцов, не только находящихся в генеративном состоянии, но и при отсутствии генеративных органов. Значительная внутривидовая изменчивость и межвидовое сходство вегетативных признаков во многом являются причиной ряда таксономических проблем секции *Eucoreosma* рода *Ribes*, как решенных к настоящему времени, так и до сих пор существующих, особенно внутри групп родственных видов.

Сравнительный анализ вегетативных признаков, характеризующих исследованные виды, показал их значительное сходство, особенно внутри группы *R. pauciflorum*, *R. ussuriense* и образцов найденной смородины. Наибольшее сходство последней выявлено с образцами *R. ussuriense*, к которой, вероятно, и принадлежит смородина, собранная в долине реки Барсуковки.

Молекулярно-генетический анализ образцов видов рода *Ribes*

Длина последовательности фрагмента *atp*B-*rbc*L составила 743–746 нуклеотидов, длина фрагмента *psb*K-*psb*I составила 412–417 нуклеотидов. Длина варьировала за счет присутствия инделей. Обнаруженная изменчивость сгруппировалась в четыре гаплотипа (h1–h4).

Сравнение последовательностей сегрегирующих сайтов (то есть позиций в последовательности нуклеотидов, по которым наблюдаются различия между образцами) для двух фрагментов хпДНК у исследованных образцов выявило сходство трех образцов неизвестного вида с образцами *R. ussuriense* и *R. pauciflorum*: пять последовательностей были идентичны и обозначены как гаплотип h1. Образец черной смородины неизвестного сорта (гаплотип h2) по двум вариабельным сайтам отличался от двух природных образцов *R. nigrum* (гаплотип h3), что закономерно, так как в создании сортов участвует несколько видов. Все образцы, несущие гаплотип h1 (*Ribes* sp., *R. ussuriense*, *R. pauciflorum*), отличались от образцов *R. nigrum* по двадцати вариабельным сайтам. Также выявлено отличие образцов с гаплотипом h1 от *R. fontaneum* (гаплотип h4) по 21 вариабельному сайту. Различия между образцами *R. fontaneum* и *R. nigrum* составили 5 вариабельных сайтов.

Филогенетические отношения изученных образцов с некоторыми видами смородин, произрастающими в Приморском крае, представлены на рисунке 3.

Изученные образцы распределились на филогенетическом дереве в две группы. В одну группу вошли виды секции *Eucoreosma* – *R. nigrum*, *R. fragrans*, *R. fantaneum*, *R. pauciflorum*, *R. ussuriense* и образцы найденной *Ribes* sp. Во вторую группу – виды с красными плодами из секции *Ribes* (*R. pallidiflorum*, *R. mandshuricum*, *R. triste*, *R. latifolium*) и из секции *Berisia* (*R. maximoviczianum*). По величине молекулярно-генетических отличий, с одной стороны, можно однозначно утверждать, что найденные образцы не относятся ни к *R. fontaneum*, ни к *R. nigrum* или ее культурным формам, натурализовавшимся в дикой природе. С другой стороны, идентичность неизвестных образцов с образцами *R. ussuriense* и *R. pauciflorum* по нуклеотидным последовательностям выбранных маркерных фрагментов хпДНК не является окончательным основанием для утверждения, что все эти особи представляют собой единый вид.

Ранее в нескольких молекулярно-генетических исследованиях с использованием разных типов маркеров (Lanham et al., 2000; Pikunova et al., 2012) было установлено, что родственными видами для *R. ussuriense* являются *R. nigrum* и *R. pauciflorum*. Большое морфологическое сходство внутри этой группы родственных видов из секции *Eucoreosma* дало основание некоторым исследователям (Malyshev, 1994; Lu, Crinan, 2001; Chang et al., 2014) считать *R. pauciflorum* конспецифичным с *R. nigrum* и отнести название *R. pauciflorum* в синонимы к *R. nigrum*. Образцы *R. pauciflorum* Л. И. Малышев (Malyshev, 1994) относил к разновидности *R. nigrum* var. *praecox* E. Wolf и их на-

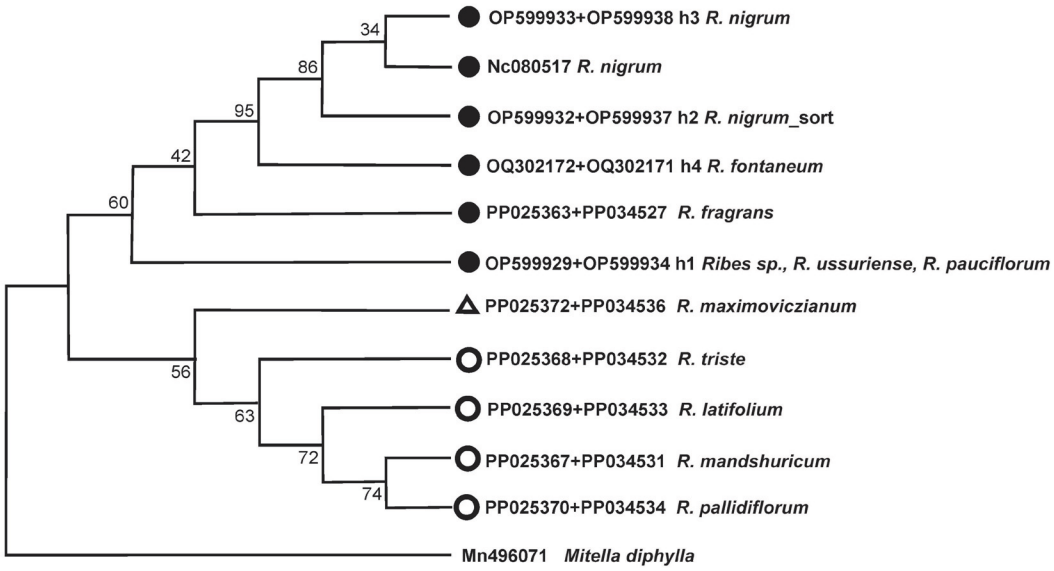


Рис. 3. Дерево филогенетических отношений исследуемых образцов *Ribes*, построенное методом максимального правдоподобия (черный кружок – виды из секции *Eucoreosma* (Spach) Jancz.; белый треугольник – вид из секции *Berisia* Jancz.; белый кружок – виды из секции *Ribes* L.)

Fig. 3. Phylogenetic tree of the studied *Ribes* accessions constructed with the use of the maximum likelihood method (black circle means species from sect. *Eucoreosma* (Spach) Jancz.; white triangle means species from sect. *Berisiya* Jancz.; white circle means species from sect. *Ribes* L.)

звание считал, соответственно, синонимичным данной разновидности. Несмотря на то что по нуклеотидным последовательностям маркерных фрагментов *atp*B-*rbc*L и *psb*K-*psb*I хпДНК нам не удалось разделить виды *R. ussuriense* и *R. pauciflorum*, полученные данные ясно показали их обособленность от *R. nigrum* и позволили критически оценить взаимоотношения евроазиатских и сибирско-дальневосточных видов из секции *Eucoreosma* как географически обособленных эволюционных линий.

Для окончательного решения о видовой принадлежности анализируемых образцов найденного неизвестного вида, во-первых, необходимо сравнение с большим числом образцов близкородственных видов. Во-вторых, требуется уточнение систематического положения близкородственных видов *R. ussuriense* и *R. pauciflorum*, и считать ли их единым таксоном. В-третьих, желательно использование подходов мультилокусного молекулярно-генетического анализа, таких например, как анализ полиморфизма ядерных и хлоропластных микросателлитов (Dolzhnikova et al., 2020; Lācis et al., 2022), или сравнения большого числа локусов, содержащих однонуклеотидные замены (Zhang et al., 2023). На сегодняшний день актуальны вопросы получения более полной информации о степени генетической дивергенции видов секции *Eucoreosma*, распространенных на Дальнем Востоке России, и их таксономической ревизии.

Заключение

Популяция смородины, впервые обнаруженная осенью 2018 г. в долине р. Барсуковки (бассейн р. Раздольной, Уссурийский г. о., Приморский край), немногочисленная. Основным лимитирующим фактором, влияющим на численность популяции, являются, по всей вероятности, низкие зимние температуры в сочетании с отсутствием снежного покрова, приводящие к сильному обмерзанию побегов и гибели цветочных почек. За период наблюдений (2018–2024 гг.) растения ни разу не цвели. Сравнительно-морфологический анализ вегетативных органов и молекулярно-генетический анализ подтверждают отнесение обнаруженных особей *Ribes* sp. к секции *Eucoreosma*, виды которых ранее не были отмечены ни в Уссурийском заповеднике, ни на сопредельных территориях. Выявленные различия по двум фрагментам хлоропластной ДНК исключают принадлежность обнаруженных особей к *R. nigrum* и, таким образом, их заносное происхождение. Ряд морфологических характеристик и наличие камфорного запаха эфирных масел указывают на возможность отнесения данной находки к редкому виду *R. ussuriense*, для которого ранее приводилось единственное местонахождение в Надеждинском районе Приморского края.

References / Литература

A synonymic list of vascular plants in Korea. Pocheon: Korea National Arboretum; 2007. [in Korean]

Bochkarnikova N.M. Black currant in the Far East. (Chernaya smorodina na Dalnem Vostoke). Vladivostok; 1973. [in Russian] (Бочкарникова Н.М. Черная смородина на Дальнем Востоке. Владивосток; 1973).

Chang C.S., Kim H., Chang K.S. Provisional checklist of vascular plants for the Korea Peninsula flora (KPF). Pocheon: Korea National Arboretum; 2014.

Chubar E.A., Probatova N.S., Seledets V.P. Lycopodiophyles, Equisetopsidophyles, Polypodiophyles, Pinophyles, Magnoliophyles. In: *Far Eastern Marine Biosphere Reserve. Biota. Vol. 2 (Dalnevostochny morskoy biosferny zapovednik. Biota. T. 2).* Vladivostok: Dalnauka; 2004. p.373-420. [in Russian] (Чубарь Е.А., Пробатова Н.С., Селедец В.П. Lycopodiophyles, Equisetopsidophyles, Polypodiophyles, Pinophyles, Magnoliophyles. В кн. *Дальневосточный морской биосферный заповедник. Биота. Т. 2*. Владивосток: Дальнаука; 2004. С.373-420).

Devey M.E., Bell J.C., Smith D.N., Neale D.B., Moran G.F. A genetic linkage map for *Pinus radiata* based on RFLP, RAPD, and microsatellite markers. *Theoretical and Applied Genetics.* 1996;92(6):673-679. DOI: 10.1007/BF00226088

Dolzhikova M.A., Pikunova A.V., Tolpekina A.A., Knyazev S.D., Bakhotskaya A.Yu. Identification of blackcurrant varieties (*Ribes nigrum* L.) based on microsatellite locus polymorphism. *Vestnik of the Russian Agricultural Science.* 2020;(3):26-29. [in Russian] (Должникова М.А., Пикунова А.В., Толпекина А.А., Князев С.Д., Бахотская А.Ю. Идентификация сортов смородины черной (*Ribes nigrum* L.) на основании полиморфизма микросателлитных локусов. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2020;(3):26-29). DOI: 10.30850/vrsn/2020/3/26-29

Fedina L.A. Supplement to the flora of Ussuri Nature Reserve (Primorsky Krai) since 2007 till 2016. *V.L. Komarov Memorial Lectures*. 2017;(65):55-59. [in Russian] (Федина Л.А. Дополнения к флоре Уссурийского заповедника (Приморский край) за десять лет (2007–2016). *Комаровские чтения*. 2017;(65):55-59). DOI: 10.25221/kl.65.3

Hall T.A. BioEdit: A user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*. 1999;(41):95-98.

Janczewski Ed. Monographie des Groseilliers *Ribes* L. *Mémoires de la Société de physique et d'histoire Naturelle de Genève*. 1907;35(3):199-517. [in German]

Janczewski Ed. Species generis *Ribes* L. II. Subgenera *Ribesia* et *Coreosma*. *Bulletin International de l'Academie des Sciences de Cracovie. Classe des Sciences Mathematiques et Naturelles*. 1906;(1):1-13. [in French]

Kharkevich S.S. Grossulariaceae. In: S.S. Kharkevich (ed.). *Vascular Plants of the Soviet Far East Vol. 3. (Sosudistye rasteniya sovetskogo Dalnego Vostoka. T. 3).* Leningrad: Nauka; 1988. p.115-131. [in Russian] (Харкевич С.С. Grossulariaceae. В кн.: *Сосудистые растения советского Дальнего Востока. Т. 3 /* под ред. С.С. Харкевича. Ленинград: Наука; 1988. С.115-131).

Kitagawa M. Neo-Lineamenta Florae Manshuricae: or enumeration of the spontaneous vascular plants hitherto known from Manchuria (north-eastern China) together with their synonymy and distribution. Vaduz: J. Cramer; 1979.

Korkishko R.I. Vascular plants (Sosudistye rasteniya). In: *The List of Plants and Fungi of the Kedrovaya Pad Nature Reserve: Checklist of Species (Kadastr rasteniy i gribov zapovednika "Kedrovaya pad": Spiski vidov)*. Vladivostok: Dalnauka; 2002. p.31-66. [in Russian] (Коркишко Р.И. Сосудистые растения. В кн.: *Кадастр растений и грибов заповедника «Кедровая Падь»: списки видов*. Владивосток: Дальнаука; 2002. С.31-66).

Kryukova M.V. Vascular plants of the Lower Amur region (Sosudistye rasteniya Nizhnego Priamurya). Vladivostok: Dalnauka; 2013. [in Russian] (Крюкова М.В. Сосудистые растения Нижнего Приамурья. Владивосток: Дальнаука; 2013).

Lācis G., Kārkliņa K., Bartulsons T., Stalažs A., Jundzis M., Baļķe I. et al. Genetic structure of a *Ribes* genetic resource collection: inter- and intra-specific diversity revealed by chloroplast DNA simple sequence repeats (cpSSRs). *Scientia Horticulturae*. 2022;304:111285. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111285

Lahaye R., Savolainen V., Duthoit S., Maurin O., van der Bank M. A test of *psbK-psbI* and *atpF-atpH* as potential plant DNA barcodes using the flora of the Kruger National Park (South Africa) as a model system. *Nature Precedings*. 2008;3:1-21. DOI: 10.1038/npre.2008.1896.1

Lanham P., Korycinska A., Brennan R. Genetic diversity within a secondary gene pool for *Ribes nigrum* L. revealed by RAPD and ISSR markers. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2000;75(4):371-375. DOI: 10.1080/14620316.2000.11511253

Lee W.B. Grossulariaceae DC. In: C.W. Park (ed.). *The Genera of Vascular Plants of Korea*. Seoul: Academy Publishing; 2007. p.509-512.

Lu L., Crinan A. *Ribes* L. In: *Flora of China. Vol. 8. Brassicaceae through Saxifragaceae*. St. Louis, MO: Missouri Botanical Garden; Beijing: Science Press; 2001. p.428-452.

Malyshev L.I. Grossulariaceae. In: *Flora of Siberia. Vol. 7 (Flora Sibiri. T. 7)*. Novosibirsk: Nauka; 1994. p.208-217. [in Russian] (Малышев Л.И. Grossulariaceae. В кн.: *Флора Сибири*. *Т. 7.* Новосибирск: Наука; 1994. С.208-217).

Manen J.F., Natali A., Ehrendorfer F. Phylogeny of *Rubiaceae–Rubieae* inferred from the sequence of a cpDNA intergene region. *Plant Systematics and Evolution*. 1994;190(3):195-211. DOI: 10.1007/BF00986193

Marchuk E.A. (ed.). Flora of the land of the Leopard National Park (vascular plants). Moscow: Fizmatlit; 2021. [in Russian] (Флора национального парка «Земля леопарда» (сосудистые растения) / под ред. Е.А. Марчук. Москва: Физматлит; 2021).

Melnikova A.B. The flora of Khekhtsir. Khabarovsk: Zapovednoye Priamurye; 2015. [in Russian] (Мельникова А.Б. Флора Хехцира. Хабаровск: Заповедное Приамурье; 2015).

Messinger W., Hummer K., Liston A. *Ribes* (Grossulariaceae) phylogeny as indicated by restriction-site polymorphisms of PCR-amplified chloroplast DNA. *Plant Systematics and Evolution*. 1999;217(3-4):185-195. DOI: 10.1007/BF00984364

Nedoluzhko V.A., Gontcharova S.B., Rodnova T.V. *Ribes ussuriense.* In: *Red Book of Primorsky Territory: Plants. Rare and Endangered Species of Plants and Fungi (Krasnaya kniga Primorskogo kraya: Rasteniya. Redkiye i nakhodyashchiyesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy rasteniy i gribov)*. Vladivostok: Apelsin; 2008. p.147-148. [in Russian] (Недолужко В.А., Гончарова С.Б., Роднова Т.В. *Ribes ussuriense.* В кн.: *Красная книга Приморского края: Растения. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов*. Владивосток: Апельсин; 2008. С.147-148).

Pavlova N.M. Black currant (Chernaya smorodina). Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1955. [in Russian] (Павлова Н.М. Черная смородина. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1955).

Pikunova A.V., Kniazev S.D., Martirosian E.V., Ryzhova N.N. Application of the RAPD-analysis for the study of genetic polymorphism and phylogenetic relationships in the *Ribes* L. genus. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2012;2(2):141-151. DOI: 10.1134/S2079059712020098

Poyarkova A.I. Black currant – *Ribes* L. (Chernaya smorodina – *Ribes* L.). In: *Flora of the USSR. Vol. 9 (Flora SSSR. T. 9).* Moscow: USSR Academy of Sciences; 1939. p.226-267. [in Russian] (Пояркова А.И. Смородина – *Ribes* L. В кн.: *Флора СССР. Т. 9*. Москва: АН СССР; 1939. С.226-267).

Sabitov A.Sh. Polymorphism and breeding value of *Ribes pauciflorum* Turcz. under the conditions of the Russian Far East (Polimorfizm i selektsionnoye znacheniye *Ribes pauciflorum* Turcz. (smorodina malotsvetkovaya) v usloviyakh Dalnego Vostoka Rossii) [dissertation]. St. Petersburg; 1994. [in Russian] (Сабитов А.Ш. Полиморфизм и селекционное значение *Ribes pauciflorum* Turcz. (смородина малоцветковая) в условиях Даль-

него Востока России: дис. … канд. с.-х. наук. Санкт-Петербург; 1994).

Schultheis L.M., Donoghue M.J. Molecular phylogeny and biogeography of *Ribes* (Grossulariaceae), with an emphasis on gooseberries (subg. *Grossularia*). *Systematic Botany*. 2004;29(1):77-96. DOI: 10.1600/036364404772974239

Senters A.E., Soltis D.E. Phylogenetic relationships in *Ribes* (Grossulariaceae) inferred from ITS sequence data. *Taxon*. 2003;52(1):51-66. DOI: 10.2307/3647301

Sinnott Q.P. A revision of *Ribes* L. subg. *Grossularia* (Mill.) Pers. sect. *Grossularia* (Mill.) Nutt. (Grossulariaceae) in North America. *Rhodora*. 1985;87(850):189-286.

Starchenko V.M. Flora of Amur region and problems of its conservation. Far East of Russia. Moscow: Nauka; 2008. [in Russian] (Старченко В.М. Флора Амурской области и вопросы ее охраны. Дальний Восток России. Москва: Наука; 2008).

Tamura K., Stecher G., Peterson D., Filipski A., Kumar S. MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 6.0. *Molecular Biology and Evolution*. 2013;30(12):2725-2729. DOI: 10.1093/molbev/mst197

Taran A.A. Vascular plants (Sosudistye rasteniya). In: *Flora, Mycobiota, and Vegetation of the Lazovsky Nature Reserve (Flora, mikobiota i rastitelnost Lazovskogo zapovednika)*. Vladivostok: Russkiy Ostrov; 2002. p.68-123. [in Russian] (Таран А.А. Сосудистые растения. В кн.: *Флора, микобиота и растительность Лазовского заповедника*. Владивосток: Русский остров; 2002. С.68-123).

Urusov V.M., Lobanova I.I. Trees, shrubs, and lianas of Primorsky Territory (Derevya, kustarniki i liany Primorskogo kraya). Vladivostok: Pacific Geographical Institute of the FEB RAS; 2018. [in Russian] (Урусов В.М., Лобанова И.И. Деревья, кустарники и лианы Приморского края. Владивосток: Тихоокеанский институт географии ДВО РАН; 2018).

Usenko N.V. Trees, shrubs, and lianas of the Far East: a reference book (Derevya, kustarniki i liany Dalnego Vostoka: spravochnaya kniga). S.D. Shlotauer (ed.). 3rd ed. Khabarovsk: Priamurskiye Vedomosti; 2009. [in Russian] (Усенко Н.В. Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока: справочная книга / под ред. С.Д. Шлотауэр. Хабаровск: Приамурские ведомости; 2009).

Vorobyev D.P. Wild trees and shrubs of the Far East (Dikorastushchiye derevya i kustarniki Dalnego Vostoka). Leningrad: Nauka; 1968. [in Russian] (Воробьев Д.П. Дикорастущие деревья и кустарники Дальнего Востока. Ленинград: Наука; 1968).

Voroshilov V.N. Key to the plants of the Soviet Far East (Opredelitel rasteniy sovetskogo Dalnego Vostoka). Moscow: Nauka; 1982. [in Russian] (Ворошилов В.Н. Определитель растений советского Дальнего Востока. Москва: Наука; 1982).

Zhang B., Yu Z., Xu Z., Zheng B. A phylogenetic and morphological evolution study of *Ribes* L. in China using RAD-Seq. *Plants.* 2023;12(4):829. DOI: 10.3390/plants12040829

Информация об авторах

Любовь Александровна Федина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения Российской академии наук, 690022 Россия, Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159, triton.54@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1430-2777

Мария Алексеевна Полежаева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, 620144 Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202, polezhaevam@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9729-2617

Диана Руслановна Юнусова, младший научный сотрудник, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, 620144 Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202, dianaiunusova@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4724-0952

Марина Николаевна Колдаева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Ботанический сад-институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, 690024 Россия, Владивосток, ул. Маковского, 142, mnkoldaeva@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1045-2433

Андрей Шамильевич Сабитов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дальневосточная опытная станция – филиал ВИР, 690025 Россия, Владивосток, ул. Вавилова, 9, andrsabitov@rambler.ru, https://orcid.org/0009-0007-8798-6464

Information about the authors

Lubov A. Fedina, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 100 Let Vladivostoka Ave., Vladivostok 690022, Russia, triton.54@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1430-2777

Maria A. Polezhaeva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 202 8 Marta St., Yekaterinburg 620144, Russia, polezhaevam@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9729-2617

Diana R. Iunusova, Associate Researcher, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 202 8 Marta St., Yekaterinburg 620144, Russia, dianaiunusova@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4724-0952

Marina N. Koldaeva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 142 Makovskogo St., Vladivostok 690024, Russia, mnkoldaeva@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1045-2433

Andrei Sh. Sabitov, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Far East Experiment Station – branch of VIR, 9 Vavilova St., Vladivostok 690025, Russia, andrsabitov@rambler.ru, https://orcid.org/0009-0007-8798-6464

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.05.2024; одобрена после рецензирования 28.08.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 27.05.2024; approved after reviewing on 28.08.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

СИСТЕМАТИКА, ФИЛОГЕНИЯ И ГЕОГРАФИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Обзорная статья
УДК 581.527.7:582.998.2:581.9
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-224-238

CC BY

Род *Helianthus* L. на Дальнем Востоке России и в Восточной Азии

Е. В. Лесик[1], И. А. Крещенок[2], Г. В. Таловина[3]

[1] *Ботанический сад-институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, Амурский филиал, Благовещенск, Россия*

[2] *Амурская государственная медицинская академия, Благовещенск, Россия*

[3] *Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия*

Автор, ответственный за переписку: Галина Владимировна Таловина, g.talovina@vir.nw.ru

Актуальность. В настоящее время виды рода *Helianthus* L. распространились во многих частях мира в качестве культурных или случайно занесенных растений. На основании гербарных сборов, литературных и собственных данных изучены история появления, распространение, особенности экологии и адаптации 6 видов и 1 подвида рода *Helianthus* на Дальнем Востоке России (ДВР) и в Восточной Азии.
Материалы и методы. Полевые исследования на ДВР проводили маршрутным методом с 2001 по 2022 г. на территории Амурской области, Хабаровского и Приморского краев. Данные по всей территории исследования взяты из литературных источников и официальных интернет-баз данных. Карты с точками произрастания представителей рода составлены в программе MapInfo.
Результаты и выводы. Изменение экологических условий способствовало расширению ареала *H. annuus* L., *H. tuberosus* L., активно возделываемых на ДВР и в Восточной Азии, но эти виды можно считать весьма локализованными на территориях с мягким, теплым и влажным климатом. Распространение остальных видов *Helianthus* незначительно. В большинстве случаев эти виды плохо адаптированы для произрастания вне культуры на территориях ДВР и Восточной Азии. Увеличение численности *H. annuus* subsp. *lenticularis* (Douglas ex Lindl.) Cockerell в агроценозах Амурской области, вероятно, связано с плохо очищенным материалом сои. Высокая степень распространенности *H. strumosus* L. в рудеральных сообществах Японии, в отличие от остальных исследуемых территорий, видимо, связана с особыми климатическими условиями. В целом физико-географическое положение Восточной Азии и ДВР, темпы и степень антропогенного влияния на этих территориях, а также глобальные изменения климатических условий способствовали успешной натурализации, но неравномерному распространению в различных нарушенных сообществах *H. annuus*, *H. tuberosus*, в отличие от *H. rigidus* (Cass.) Desf., *H. laetiflorus* Pers., *H. petiolaris* Nutt.

Ключевые слова: подсолнечник, адвентивный вид, заносный вид, сорное растение, инвазия, распространение, адаптации, рудеральные сообщества, агроценозы

***Благодарности*:** работа выполнена в рамках государственного задания (№ 1021060307535-7-1.6.11) Ботанического сада-института ДВО РАН и государственного задания ВИР по проекту № FGEM-2022-0006.
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Лесик Е.В., Крещенок И.А., Таловина Г.В. Род *Helianthus* L. на Дальнем Востоке России и в Восточной Азии. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):224-238. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-224-238

© Лесик Е.В., Крещенок И.А., Таловина Г.В., 2024

SYSTEMATICS, PHYLOGENY AND GEOGRAPHY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Review article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-224-238

The genus *Helianthus* L. in the Russian Far East and in East Asia

Elena V. Lesik[1], Irina A. Kreshchenok[2], Galina V. Talovina[3]

[1] *Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Amur Branch, Blagoveshchensk, Russia*

[2] *Amur State Medical Academy, Blagoveshchensk, Russia*

[3] *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg Russia*

Corresponding author: Galina V. Talovina, g.talovina@vir.nw.ru

Background. By now, *Helianthus* L. spp. have spread out to many parts of the world as cultivated or adventive plants. Herbarium collections, published sources, and our own data were used to study the emergence, distribution, environmental patterns, and adaptation of 6 species and 1 subspecies of *Helianthus* L. in the Russian Far East and in East Asia.
Materials and methods. Field studies in the Russian Far East were carried out using the route-based method from 2001 through 2022 over Amur Province, and Khabarovsk and Primorsky Territories. The data for the entire area of studies were retrieved from published sources and official web databases. Maps with *Helianthus* growing sites were made using the MapInfo software.
Results and conclusions. Changes in environmental conditions contributed to the expansion of the range of *H. annuus* L. and *H. tuberosus* L. Actively cultivated in the Russian Far East and in East Asia, these two species are obviously quite localized to areas with a mild, warm and humid climate. Other *Helianthus* spp. are distributed to a much lesser extent, being in most cases poorly adapted to uncultivated growth in the Russian Far East or East Asia. Increased occurrence of *H. annuus* subsp. *lenticularis* (Douglas ex Lindl.) Cockerell in agrocenoses of Amur Province is probably associated with underpurified soybean material. Higher distribution of *H. strumosus* L. across ruderal communities in Japan, contrary to the other studied areas, is likely to have been induced by specific climate conditions. On the whole, the physical geography, the pace and degree of anthropogenic pressure, and the climate change impacts in East Asia and the Russian Far East favored successful naturalization, albeit uneven distribution, of *H. annuus* and *H. tuberosus* in various disturbed communities, in contrast to *H. rigidus* (Cass.) Desf., *H. laetiflorus* Pers., or *H. petiolaris* Nutt.

Keywords: sunflower, invasion, adventive species, weed, distribution, adaptations, ruderal communities, agrocenoses

Acknowledgments: the present study was carried out within the framework of the state tasks assigned to the Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, No. 1021060307535-7-1.6.11, and the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Project No. FGEM-2022-0006.
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Lesik E.V., Kreshchenok I.A., Talovina G.V. The genus *Helianthus* L. in the Russian Far East and in East Asia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):224-238. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-224-238

Введение

В ходе антропогенной трансформации территорий и освобождения новых ниш некоторые виды растений занимают не свойственные им эколого-географические территории. Заносные виды часто выступают своего рода индикаторами степени нарушенности на начальных стадиях или полной дигрессии природных растительных сообществ. В ненарушенном состоянии растительные сообщества «консервативны» и закрыты для вторжения чужеродных видов. «Проникновение инвазионных организмов в экосистемы, расположенные за пределами их естественного ареала, стало глобальной проблемой» (Dgebuadze, 2013, p. 95).

В настоящее время отдельные виды *Helianthus* L. (подсолнечник) широко культивируются во многих частях мира. Они могут уходить из культуры, заселяя рудеральные местообитания. Подсолнечник происходит из Северной, Центральной и Южной Америк. До сих пор нет единого мнения о таксономическом составе политипного рода *Helianthus*. Существуют разные системы, включающие от 10 до 254 видов; по разным классификациям (Schilling, 2006; Nooryazdan et al., 2009), а также по списку растений World Flora Online (https://wfoplantlist.org/) ранг и статус многих представителей рода различен (рис. 1). Считается, что проблема идентификации видов подсолнечника связана с совокупностью таких факторов, как особенности развития, экологическая пластичность, изменчивость, частота межвидовой гибридизации и наличие полиплоидии (Schilling, 2006).

На Дальнем Востоке России (ДВР) и в Восточной Азии представители подсолнечника все чаще отмечаются как компонент заносной флоры, что и обусловило актуальность работы. Источником заноса служат как посевы в качестве культуры, так и случайный занос. Успешность натурализации видов рода в составе растительных сообществ неравнозначна в различных участках этих территорий. На данный момент для видов подсолнечника сложно прочертить границы вторичного ареала, так как процесс адаптации к новым для них территориям не завершен; кроме того, некоторые из видов рода активно культивируются здесь или возделывались в недавнем прошлом. Поэтому точки местонахождений, отмеченные на картах, и сопровождающая информация о местообитаниях в описании к ним могут послужить материалом

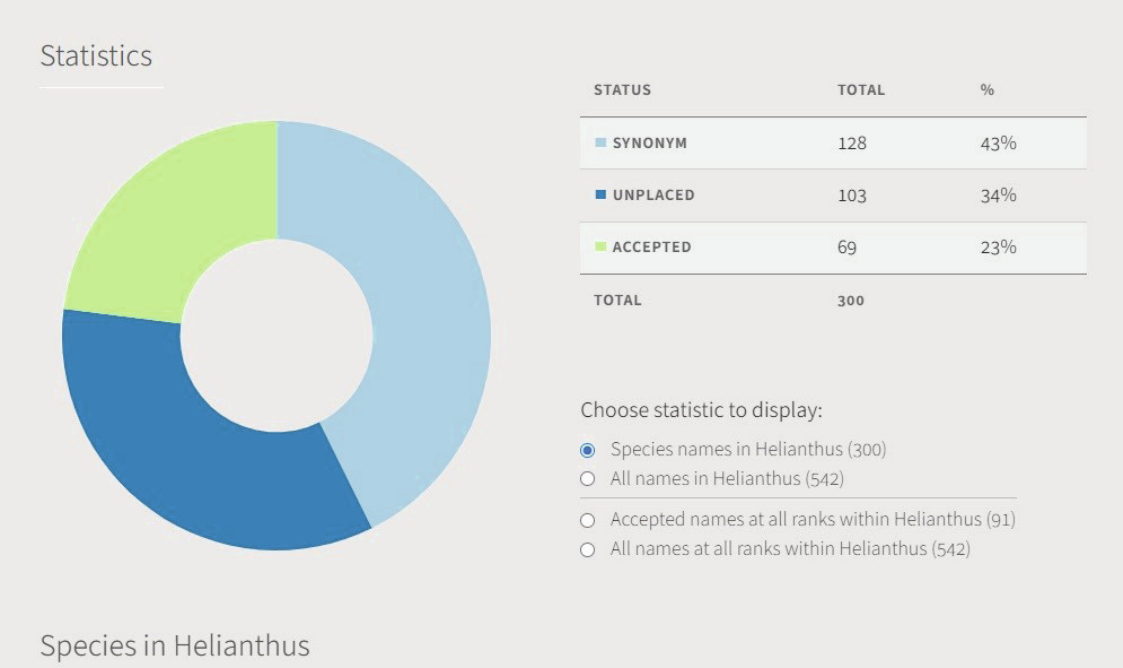


Рис. 1. *Helianthus* L.: статус названий видов и их соотношение по данным сайта World Flora Online (https://wfoplantlist.org/)

Fig. 1. *Helianthus* L.: status of the species names and their proportions according to the World Flora Online website (https://wfoplantlist.org/)

Не всегда распространение заносного вида на территории можно объяснить только лишь соответствием уровня тепло- и влагообеспеченности захватываемой территории тому уровню, который существовал в естественном ареале вида. С одной стороны, играют роль своеобразие эколого-географических условий и ландшафтные особенности новой для видов территории; в то же время активное хозяйственное использование территорий приводит к заметным изменениям в составе и структуре биологических сообществ, прежде всего к нарушениям почвенно-растительного покрова (вплоть до его уничтожения) и появлению новых биотопов. Этот процесс называется «синантропизацией растительного покрова» и приводит к преобразованию как ландшафтного, так и биологического разнообразия (Berezutsky, 1999; Senator et al., 2012). Таким образом, адаптируясь к новым условиям, адвентивные виды могут образовывать достаточно мощные сообщества, вытесняя аборигенные растения, изначально наилучшим образом приспособленные к произрастанию в этом климате с этим сочетанием уровня тепла и влаги.

для выводов об адаптивном потенциале видов подсолнечника на вторичных для них территориях произрастания.

Цель исследования – анализ адаптации и распространения представителей рода *Helianthus* в условиях Дальнего Востока России и Восточной Азии.

Материалы и методы

Вся информация о распространении 6 видов и 1 подвида подсолнечника на ДВР и в Восточной Азии (иногда, для уточнения нахождения отдельных видов, захватываются территории Юго-Восточной Азии) получена из литературных данных, собственных сборов, материалов гербариев (LE, VLA, MHA, MW, ABGI, VBGI, WIR), цифрового Гербария МГУ (https://plant.depo.msu.ru) и официальных интернет-баз данных: CABI Compendium; Discover Life; Global Biodiversity Information Facility (GBIF); National Institute for Environmental Studies (NIES); Plants of the World Online (POWO), World Flora Online (WFO) с дополнениями из общедоступных интернет-источников (iNaturalist). На картах, составленных с помощью компьютерной программы MapInfo, точками указаны конкретные места сбора по литературным и гербарным данным, в том числе из собственных сборов. В случаях если в литературе были даны только флористические или геоботанические районы распространения вида без конкретного местонахождения, то информация об этом приводится в текстовом описании. На картах даются точки сборов только тех образцов растений, которые либо сбежали из культуры, либо растут на рудеральных местообитаниях или в агроценозах. Места возделывания видов подсолнечника в посевах упоминались только в тексте и на карте не отмечались.

Наши полевые исследования проводились в период с 2001 по 2022 г. на территории Амурской области (Сковородинский, Зейский, Шимановский, Селемджинский, Мазановский, Свободненский, Белогорский, Серышевский, Михайловский, Тамбовский, Ивановский, Благовещенский, Бурейский, Константиновский, Архаринский районы), Хабаровского (Большехехцирский заповедник) и Приморского краев (Дальнегорский, Черниговский, Анучинский, Спасский, Уссурийский, Шкотовский, Надеждинский, Хасанский районы) и Еврейской автономной области. Изучение растительности антропогенно нарушенных территорий осуществлялось маршрутным методом (Mirkin, Rozenberg, 1978). Были исследованы рудеральные местообитания (обочины дорог, газоны, кюветы, пустыри, придомовые территории, мусорные свалки, железнодорожные насыпи, АЗС, федеральные дороги и т. д.) и агроценозы (исследования проводили в 300 агроценозах сои, пшеницы, овса, гречихи, кукурузы, картофеля и овощных культур в Амурской области и 50 агроценозах сои, пшеницы, овса в Приморском крае в разные годы). Посевы и посадки осматривались от края до центра поля.

Названия видов/подвида приведены по базам данных*:* WFO (https://wfoplantlist.org/), POWO (https://powo.science.kew.org/), IPNI (https://www.ipni.org/). *Helianthus lenticularis* Douglas ex Lindl., который во многих отечественных флористических сводках признается самостоятельным видом (Uljanova, 1978; Barkalov, 1992, 2009; Cherepanov, 1995; Barkalov, Taran, 2004; Starchenko, 2008, 2018, и др.), мы принимаем как подвид *Helianthus annuus* subsp. *lenticularis* (Douglas ex Lindl.) Cockerell, следуя монографу рода А. В. Анащенко (Anashchenko, 1974). Тем не менее в тексте цитируются оба названия в зависимости от того, как они приводятся в оригинальных литературных данных и на этикетках гербарных образцов.

Собранные авторами в ходе исследования гербарные материалы хранятся в Гербарии Амурского филиала Ботанического сада-института ДВО РАН (ABGI). В тексте приняты условные сокращения: р-н – район; ж.-д. – железная дорога; о. – остров; с. – село; п. – поселок; г. – город; ст. – станция; шт./м^2 – штук на 1 квадратный метр.

Результаты

На территории ДВР в разные периоды исследований отмечалось от 1 до 7 видов рода *Helianthus*: *Helianthus annuus* L., *H. tuberosus* L., *H. rigidus* (Cass.) Desf., *H. lenticularis* Douglas ex Lindl., *H. strumosus* L. (Komarov, Klobukova-Alisova, 1931; Barkalov, 1992; Starchenko, 2008; Antonova, 2009), *H. laetiflorus* Pers. и *H. petiolaris* Nutt. (Barkalov, 1992). Все виды относятся к трибе Heliantheae Cass., подтрибе Zinniinae Benth et Hook. fil. Из них *H. tuberosus*, *H. rigidus*, *H. laetiflorus* – многолетние растения, остальные – однолетние виды.

Helianthus annuus L.

Синонимы: *H. aridus* Rydberg, *H. cultus* Ventsl., *H. erythrocarpus* Bartl., *H. indicus* L., *H. jaegeri* Heiser, *H. lenticularis* Douglas, *H. lenticularis* Douglas ex Lindley, *H. macrocarpus* DC., *H. macrocarpus* DC. & A.DC., *H. multiflorus* Hook., *H. ovatus* Lehm., *H. platycephalus* Cass., *H. pumilus* Pers., *H. tubaeformis* Nutt (Lim, 2014; Chen, Hind, 2011).

Распространение в естественном ареале

Н. И. Вавилов в ходе экспедиций по Северной Америке (Vavilov, 1967) отмечал, что дикий подсолнечник засоряет в огромном количестве межи и пустыри в США и на юге Канады. Позже указывалось, что в диком виде этот подсолнечник произрастает на сухих равнинах США от Техаса до Саскачевана и Миннесоты (Zhukovsky, 1971; Anashchenko, 1974). В настоящее время вид естественно распространен от юго-запада США до Мексики (Schilling, 2006), что согласуется с базой данных Plants of the World Online (https://powo.science.kew.org/). Сложности определения истинного первичного ареала *H. annuus* связаны с тем, что индейцы выращивали его задолго до открытия Христофором Колумбом Америки (Balogh, 2008); вероятно, это сыграло немаловажную роль в распространении вида на континенте. Характерно произрастание в умеренном климате. В настоящее время выращивается во многих странах мира как масличная культура.

Распространение во вторичном ареале – Восточная Азия

В Китае *H. annuus* возделывается как основная сельскохозяйственная культура (Chen, Hind, 2011). Встречается на рудеральных местообитаниях в городах Шаньдунь, Шанхай, Нонган (северо-западная провинция Цзилинь), в провинции Сычуань (округ Баосин), в Гонконге, на о. Ламма, в Тибетском автономном районе Сицзан и др. (рис. 2). Наибольшее распространение зафиксировано в юго-восточной части Китая, где подсолнечник имеет рассеянное покрытие по территории разных провинций, по данным цифровой библиотеки CABI Compendium (Rojas-Sandoval, 2022). Как рудеральное растение, по данным сайтов Discover Life (https://www.discoverlife.org/), GBIF (https://www.gbif.org/), отмечен на о. Тайвань, на нарушенных территориях в Северной и Южной Корее в соответствии с iNaturalist (https://www.inaturalist.org/), в Японии (Окаяма (округ Бидзэн-ши), Хего, Фукада парк (округ Санди-ши), Терао (Кавагоэ, Сайтама), Ибараки (Нака-гун, Накамачи), г. Иокогама (префектура Канагава), по данным сайтов Discover Life (https://www.discoverlife.org/), GBIF (https://www.gbif.org/). В этих странах возделывается как масличная культура.



Рис. 2. Точки произрастания *Helianthus annuus* L. на ДВР и в Восточной Азии
Fig. 2. Localities of *Helianthus annuus* L. in the Russian Far East and in East Asia

Распространение на ДВР

На территории ДВР впервые указывается в работе В. Л. Комарова и Е. Н. Клобуковой-Алисовой (Komarov, Klobukova-Alisova, 1931) для Приморского края, где отмечено, что *H. annuus* культивируется, но иногда уходит из культуры и дичает. В настоящее время в Приморском крае отмечается как культурное, так и сорное растение на рудеральных местообитаниях, ж.-д. насыпях г. Владивостока (VLA), ст. Хасан (Хасанский р-н) (Nechaeva, 1984), по обочинам дорог населенных пунктов (села Кайгановка, Каменушка, г. Уссурийск). Вероятно, на антропогенно нарушенных территориях появился из выброшенных или случайно выроненных семян.

Для Сахалинской области приводится в списке флоры из Северо-восточного, Тымского флорраёнов, р-на Южносахалинской низменности и Юго-западного флорраёна (Barkalov, Taran, 2004).

В 2007 г. был собран гербарный образец на о. Шикотан (VLA), вероятно, выросший из потерянных семян (Barkalov, 2009).

В Хабаровском крае впервые отмечен в 1975 г. в окрестностях г. Хабаровска, на рудеральных участках и в оврагах, а также близ ж.-д. ст. Волочаевка-1, по обочинам шоссейной дороги и насыпи ж.-д. магистрали (Nechaev, Nechaev, 1978). Позже найден на ж.-д. ст. Новый Ургал и в окрестностях п. Чегдомын (VLA). В настоящее время культивируется населением. Часто уходит из культуры, встречается по обочинам дорог, на ж.-д. насыпях и в других рудеральных сообществах (Antonova, 2009).

В Магаданской области указывается как редкое рудеральное растение (свалки, пустыри, обочины дорог, галечники, тундры в местах прохождения вездеходных дорог) в Охотском и Колымском флорраёнах, в п. Эвенск, п. Мадаун (Lysenko, 2012). В 1982 г. отмечен на о. Спафарьева (VLA).

На Камчатке отмечен в рудеральных местообитаниях в г. Петропавловск-Камчатский, в пгт. Палана и Мильковском р-не, по данным GBIF (https://www.gbif.org/).

В Еврейской автономной области отмечен в Хинганo-Кульдурском флорраёне (Belaya, Morozov, 1995; Rubtsova, 2002, 2017).

В Амурской области культивируется как пищевая культура на частных подворьях, однако, по нашим данным, в разные годы растения не всегда дают полноценные выполненные и вызревшие семена. Может дичать и уходить из культуры, но не образовывая сплошных зарослей. Спонтанно в единичных экземплярах отмечается по обочинам дорог, на рудеральных местообитаниях, ж.-д. насыпях вблизи вокзалов, на придомовых территориях в населенных пунктах Благовещенского, Ивановского, Тамбовского р-нов, в г. Благовещенске и его окрестностях, в п. Талакан и его окрестностях (Бурейский р-н). Приводится для долины р. Буреи (Starchenko, 2016), с. Иннокентьевка (Архаринский р-н), г. Тынды (VLA). Ра-

нее указывался только как культивируемое растение (Starchenko, 2008). В 2019–2021 гг. в Тамбовском р-не в посевах сои нами отмечены единичные экземпляры культурного *H. annuus*, однако растения находились ближе к краю поля – вероятно, семена были занесены человеком.

На территории ДВР как сельскохозяйственная культура в больших масштабах не возделывается, однако попытки выращивания в Приморском крае предпринимались неоднократно, по информации Министерства сельского хозяйства Приморского края от 10.04.2017 (Today is 2017…, 2017). В настоящее время, по данным PrimaMedia, в нескольких районах есть экспериментальные поля, где испытываются различные гибриды (We don't mind…, 2020). Может заноситься в посевы сельскохозяйственных культур, а также встречаться на рудеральных местообитаниях: на пляжах, на пустырях, по газонам, в расщелинах асфальта в результате случайного заноса.

Биологические особенности вида способствуют тому, что во вторичном ареале он может произрастать вне культуры и тяготеет к сухим местообитаниям. Широко распространился как сорное растение в юго-восточной части Китая. В агроценозах вне целенаправленного посева встречается редко, в результате случайного заноса или как остаточная культура. При продвижении на северо-восток ДВР отмечается в единичных экземплярах.

Helianthus annuus subsp. *lenticularis* (Douglas ex Lindl.) Cockerell

Примечание. В современных международных базах данных IPNI, WFO, POWO, BHL название *Helianthus lenticularis* Douglas ex Lindl. считается валидным, однако относится к синонимам *H. annuus*. В работе А. В. Анащенко (Anashchenko, 1974) как самостоятельный вид не выделяется, а относится к *H. annuus* в качестве подвида *H. annuus* subsp. *lenticularis*. При этом автор отмечает, что этот подвид по морфологическим и генетическим признакам очень близок культурному подсолнечнику. В основу своей классификации А. В. Анащенко положил критерии скрещиваемости и анализ геномного состава, вследствие чего все однолетние виды подсолнечника были отнесены им к *H. annuus*. Во «Флоре Северной Америки» (Schilling, 2006), во «Флоре Китая» (Shi, 2011) и работах других исследователей (Lim, 2014) *H. lenticularis* считается синонимом *H. annuus*. В классификации рода *Helianthus* по E. E. Schilling и C. B. Heiser этот вид не упомянут вообще (Schilling, Heiser, 1981). Многими отечественными исследователями (Zhukovsky, 1971; Chepelev, 1977; Uljanova, 1978), а также в сводках С. К. Черепанова (Cherepanov, 1995) и книге «Сосудистые растения советского Дальнего Востока» (Barkalov, 1992) *H. lenticularis* принимается как самостоятельный вид, что далее было поддержано в более поздних отечественных работах по флоре ДВР (Barkalov, Taran, 2004; Starchenko, 2008, 2018; Kudrin, 2011, и др.).

Распространение в естественном ареале

В первоописании вида есть указание на его обильное произрастание в р-нах с умеренным климатом внутреннего и западного побережья Северо-Западной Америки (Lindley, 1829). «Диким степным подсолнечником, … произрастающим в местечке Бульдер в Колорадо» называет его В. Л. Комаров (Komarov, 1958), причем исследователь отмечает, что «...подсолнечник растет на равнинных и культивируемых землях, но может уходить из культуры и быть обыкновенным сорняком, не исключая гибридизации с другими видами этого рода», вид «... предположительно, происходит из Северной Америки, где является сорным растением» (Komarov, 1958, p. 172–173).

П. М. Жуковский пишет, что *H. lenticularis* в диком виде произрастает в степях и предгорьях США, Канады и Северной Мексики; это очень засухоустойчивое растение, часто встречается по обочинам дорог, засоряет посевы кукурузы, что «...имеет отношение к одомашниванию подсолнечника индейцами» (Zhukovsky, 1971, p. 332).

К сожалению, данных о современном распространении подвида в Восточной Азии не обнаружено вследствие того, что зарубежные исследователи не рассматривают его как самостоятельный таксон, считая синонимом *H. annuus*.

Распространение на ДВР

Во время экспедиции Ф. П. Литке 1828–1829 гг. был собран гербарный образец на полуострове Камчатка, определенный как *H. tuberosus* (LE), который в 1987 г. переопределен В. Ю. Баркаловым как *H. lenticularis*. Однако впервые официально на территории России *H. lenticularis* зарегистрирован в 1957 г.; позже он распространился в посевах различных сельскохозяйственных культур (Ulyanova, 2005).

На территории Приморского края ДВР *H. lenticularis* отмечен в 1975 г. в с. Покровка, в посевах сои (VLA), позже вид для Приморья указывался в работе Т. Н. Ульяновой (Uljanova, 1978). В этот период *H. lenticularis* был в списке карантинных растений СССР (Chepelev, 1977), но в настоящее время в списке карантинных растений РФ не числится (Приказ от 26 декабря 2007 г. № 673 «Об утверждении перечня карантинных объектов», зарегистрировано в Минюсте РФ 17 января 2008 г. № 10903). В конце 70–80 гг. XX в. отмечался в г. Уссурийске, в п. Ново-Николаевское и в посадках овощей в колхозе «Искра» (Октябрьский р-н) (VLA). В 2011 г. нами отмечен в единичных экземплярах в с. Анисимовка (Шкотовский р-н) на обочине дороги.

В сводке «Сосудистые растения советского Дальнего Востока» (Barkalov, 1992) *H. lenticularis* впервые приводился для городов Благовещенск и Белогорск Амурской области как рудеральный сорняк. В 2003 г. *H. annuus* subsp. *lenticularis* был собран нами на ж.-д. насыпи в г. Свободный (Свободненский р-н) (рис. 3). В 2004 г. собран на территории Хинганского заповедника у озера Клёшинского (Kudrin, 2011).

Отдельные исследования мы проводили в агроценозах юга Амурской области. В 2016–2017 гг. подвид отмечался только в двух агроценозах сои из 20 обследованных в Тамбовском р-не; количество экземпляров было единичным. В 2019 г. на этих полях данный подвид подсолнечника не обнаружен. В этом же году в Ивановском, Тамбовском, Благовещенском р-нах Амурской области подвид был обнаружен в 40 агроценозах из 50 обследованных. Количество растений на полях сильно варьировало от единичных экземпляров до массовых зарослей (на 1 м^2 до 7–15 шт.). Единичные экземпляры подвида отмечены по краям полей. Общая площадь, занятая подсолнечником в разных агроценозах, колебалась от 2 до 30 га на одном поле. Наибольшая засоренность подсолнечником была в семи агроценозах сои. Единичные экземпляры отмечены в посадках картофеля на двух полях Тамбовского р-на: растения росли ближе к краю поля. В Ивановском р-не обнаружено два экземпляра подсолнечника в посевах пшеницы, так же как и в посадках картофеля,

ближе к краю поля. От единичных экземпляров до 10 шт./м^2 обнаружено в посевах овса, однако максимальное количество растений было только в одном месте, в 5–6 м от края поля. В остальной части встречались единичные экземпляры. Погодные условия вегетационного периода 2019 г. характеризовались большим количеством осадков, что привело к переувлажнению посевов сельскохозяйственных культур, но не сказалось на росте и продуктивности подсолнечника. Дальнейшие исследования, проведенные в осенний период (сентябрь – октябрь), показали, что семена сформировались полностью и дошли до стадии полной зрелости.

В 2020–2022 гг. произошло снижение численности *H. annuus* subsp. *lenticularis* на отдельных полях Тамбовского р-на. Однако наибольшая засоренность осталась в агроценозах Ивановского р-на. На протяжении четырех лет исследований (2019–2022 гг.) наблюдалась стабильная устойчивость *H. annuus* subsp. *lenticularis* в отдельных агроценозах юга Амурской области, несмотря на снижение численности. При этом растения проходили полный жизненный цикл, семена хорошо сохранялись в почве до следующего вегетационного периода.

В данном случае можно предположить успешную адаптацию подвида в условиях юга Амурской области. Возможно, это также связано с изменениями погодных условий (увеличение осадков в зимний и летний периоды, мягкие зимы, увеличение продолжительности безморозного периода осенью и весной). Так как подвид приурочен к агроценозам, большая вероятность его распространения будет связана с семенным материалом культурных растений. Однако этот подвид подсолнечника легко может быть уничтожен полностью или его присутствие в посевах сведено до неощутимого минимума при применении необходимых агротехнических мероприятий. Вероятно, биологические особенности и высокая адаптация к произрастанию в нарушенных фитоценозах позволяют данному подвиду во вторичном ареале относительно легко внедряться в агроценозы, реже – в рудеральные сообщества.

На территории ДВР в Амурской области *H. annuus* subsp. *lenticularis* образует массовые заросли только в агроценозах и редко встречается на других типах антропогенно нарушенных местообитаний (рис. 3). В Приморском крае чаще отмечен на рудеральных территориях.

Вторичный ареал *H. annuus* subsp. *lenticularis* в Восточной Азии не показан на карте, так как современные зарубежные исследователи рассматривают данный подвид как синоним *H. annuus* и данных о его распространении на других территориях, кроме ДВР, не обнаружено.



Рис. 3. Точки произрастания *Helianthus annuus* subsp. *lenticularis* (Douglas ex Lindl.) Cockerell на ДВР
Fig. 3. Localities of *Helianthus annuus* subsp. *lenticularis* (Douglas ex Lindl.) Cockerell in the Russian Far East

***Helianthus tuberosus* L.**

Синонимы: *H. tomentosus* Michaux; *H. tuberosus* var. *subcanescens* A. Gray. (Chen, Hind, 2011).

Распространение в естественном ареале

Отмечалось, что в диком виде *H. tuberosus* (подсолнечник клубненосный, топинамбур) произрастал на влажных или богатых органикой почвах в различных штатах США, начиная от Флориды, далее на запад, через Техас, Саскачеван, Онтарио и некоторые другие земли (Zhukovsky, 1971), до севера Южной Америки (Бразилия и Перу) (Franke et al., 1979). В настоящее время естественный ареал проходит от Центральной и Восточной Канады до США, где вид распространен практически по всей территории (кроме крайнего запада и юго-запада) (Schilling, 2006), что согласуется с базой данных Plants of the World Online (https://powo.science.kew.org/).

Как показали археологические находки, виды *Helianthus*, в том числе *H. tuberosus*, выращивались в долине Миссисипи еще около 3000 г. до н. э. (Balogh, 2008).

Распространение во вторичном ареале – Восточная Азия

В странах Восточной Азии *H. tuberosus* в качестве овощной культуры в основном возделывается в Китае. Как сорное растение встречается на обочинах дорог, в агроценозах и на пустырях (Chen, Hind, 2011) в округе Сюшуй (провинция Цзянси), провинции Шэньси, г. Чунцин, провинции Ганьсу, Ляншань-Ийском автономном округе (провинция Сычуань), округе Чэнкоу, городском округе Юйси, Нуцзян-Лисуском автономном округе (провинция Юньнань), провинциях Хайнань, Хубей, Хунань, Шеньси и др., по данным сайтов Discover Life (https://www.discoverlife.org/), GBIF (https://www.gbif.org/) (рис. 4). Значительная доля случаев распространения топинамбура зафиксирована в юго-восточной части Китая. На о. Тайвань отмечен в р-не Чжунчжэн (Тайбэй), Западно-Центральный округ (город центрального подчинения – Тайнань), по данным Discover Life (https://www.discoverlife.org/) и по литературе (Chung, Liu, 2020). Интересно, что в Китае *H. tuberosus* использовался на шоссе от Шеньяна до Даляня в провинции Ляонин для борьбы с амброзией полыннолистной (Wan et al., 2017).

В некоторых странах топинамбур внесен в список карантинных видов. Так, в Японии считается агрессивным чужеродным видом. Занесен на территорию Японии в 1895 г., по данным Национального института по изучению окружающей среды Японии (NIES) (https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/index_en.html); отмечен почти на всей территории в рудеральных сообществах, в садах, посевах сельскохозяйственных культур в соответствии с базами NIES, (https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/index_en.html); GBIF (https://www.gbif.org/).



Рис. 4. Точки произрастания *Helianthus tuberosus* L. на ДВР и в Восточной Азии
Fig. 4. Localities of *Helianthus tuberosus* L. in the Russian Far East and in East Asia

Конкурирует с местными травянистыми растениями, особенно по побережью. В Южной Корее встречается на рудеральных местообитаниях в населенных пунктах в провинциях Кёнсан-Пукто, Чолла-Намдо, в Северной Корее – г. Пхеньян, по данным Discover Life (https://www.discoverlife.org/).

Распространение на ДВР

На территории ДВР *H. tuberosus* используется как декоративная и пищевая культура, поэтому чаще встречается вблизи жилья, в основном по югу региона (Barkalov, 1992), где данный вид может адаптироваться и заселять только сильно нарушенные, открытые местообитания. В естественные фитоценозы не проникает. Точное время появления на ДВР установить сложно, так как нет достаточных сведений.

В Приморском крае отмечен в рудеральных местообитаниях на о. Русский (Nedoluzhko, Denisov, 2000), в г. Владивостоке и его окрестностях, в окрестностях г. Артёма, с. Угловое (VBGI), а также в Уссурийском (с. Каменушка, с. Кайгановка), Шкотовском (Уссурийский заповедник: кордон Аникин) и Дальнегорском (г. Дальнегорск) районах, по данным GBIF (https://www.gbif.org/). В начале – середине XX века отмечался только в культуре. Благоприятные климатические условия Приморского края способствуют перезимовке растений и, как следствие, быстрому распространению по антропогенно нарушенным местам.

В Сахалинской области отмечен на Итурупе и Кунашире (близ г. Южно-Курильска) (VLA) на морском побережье вблизи поселков. Культивируется, иногда дичает (Barkalov, 2009; Fukuda et al., 2015). Отмечен в южной части о. Сахалин (г. Корсаков) (VLA) в рудеральных сообществах (Barkalov, Taran, 2004; VLA). Имеются также данные из р-на Южносахалинской низменности, Юго-восточного и Юго-западного флоррайонов (Barkalov, Taran, 2004).

На Камчатке встречается в селах Мильково (Мильковский р-н), Эссо (Быстринский р-н) (Vinogradova et al, 2021, p. 253) и г. Петропавловске-Камчатском, по данным сайта Discover Life (https://www.discoverlife.org/).

В Хабаровском крае, как и в остальных регионах ДВР, выращивается в качестве декоративного и пищевого растения, которое легко уходит из культуры на рудеральные местообитания. Приводится для г. Хабаровска и ст. Звеньевая (Antonova, 2009). Внедряется на нарушенные луга, лесные поляны (Vinogradova et al., 2021, p. 253).

В Еврейской автономной области также отмечен как культурное растение и иногда как рудеральное растение (Belaya, Morozov, 1995; Rubtsova, 2017).

В Амурской области уходит из культуры на рудеральные места: пустыри, обочины дорог. Отмечен в г. Благовещенске и его окрестностях (ABGI), окрестностях п. Прогресс (Новобурейский р-н), п. Талакан (Бурейский р-н).

Ранее указывался для Даурского, Нижне-Зейского и Верхне-Зейского флоррайонов в качестве сорного и культурного растения (Starchenko, 2008).

На территории РФ внесен в список инвазионных видов Средней России, Сибири и Дальнего Востока (Vinogradova et al., 2010; Vinogradova, Kupriyanov, 2016; Vinogradova et al., 2021).

Биологические особенности вида позволяют ему не только успешно произрастать в культуре на территории Восточной Азии, но и легко адаптироваться и распространяться по антропогенно нарушенным территориям, местами конкурируя с аборигенными видами. Например, проявлять агрессивную конкуренцию по отношению к аборигенным травянистым растениям в Японии.

Helianthus rigidus (Cass.) Desf.

Синонимы: *Harpalium rigidum* Cass., *Helianthus scaberrimus* Ell., *H. subrhomboides* Rydb. (Zhukovsky, 1971; Barkalov, 1992).

Распространение в естественном ареале

В диком виде произрастал на сухих песчаных почвах в прериях разных штатов США (Zhukovsky, 1971). В настоящее время естественный ареал указывается от Канады до Северной и Восточной Центральной Америки, согласно базе данных POWO (https://powo.science.kew.org/).

Распространение на ДВР

На ДВР на рудеральных местообитаниях, вероятно, появился как беженец из культуры с конца XX века в Приморском крае (о. Русский) на месте заброшенных строений (Nedoluzhko, Denisov, 2000, 2001), в г. Владивостоке – на мусорном месте (VLA), в г. Находке – на ж.-д. насыпи и п. Тавричанка – на пустыре (VLA).

В Хабаровском крае культивируется как декоративное растение (иногда дичает) и встречается, по литературным данным, в Уссурийско-Амурском флоррайоне (Antonova, 2009).

Впервые отмечен в Амурской области в 70-х годах XX века в единичных экземплярах в Зейском заповеднике (MW, ABGI), где произрастает и в настоящее время, а также в массе на окраине г. Зеи (Starchenko, 2008; Veklich, 2016).

В 2004 г. *H. rigidus* был собран в Ивановском р-не в посевах гречихи (в 2 км от с. Ивановка) в нескольких экземплярах – вероятно, случайно попал с семенами (рис. 5). Возможен повторный занос в посевы сельскохозяйственных культур с семенным материалом.

Данный вид не имеет широкого распространения. Встречается в большинстве случаев только как культурное растение. На рудеральных местообитаниях и в посевах редок. В сопредельных с Россией странах Восточной Азии не отмечен.

Helianthus strumosus L.

Синонимы: *H. mollis* Willd. (Zhukovsky, 1971).

Распространение в естественном ареале

В диком виде произрастает в сухих лесах, на холмах и полях разных штатов США: Арканзас, Миннесота и др. (Zhukovsky, 1971). Также приводился для штатов Виргинии, Висконсина (Anashchenko, 1974). В настоящее время естественный ареал проходит от юго-востока Канады до центральной и восточной части США (Schilling, 2006), что согласуется с базой данных POWO (https://powo.science.kew.org/).

Распространение во вторичном ареале – Восточная Азия

В Японии отмечен в префектурах: Акита (на ж.-д. станции и в г. Тэнно), Фукусима (Китаката-ши, Хигасиёцуя), Ибараки, Гумма (г. Исэсаки), Нагано (Хонсю, округ Тохоку), г. Сакаи, Хёго (Михара-гун, Сейдан-чо, Мацухо, Химедзи-ши, Ооту-ку, г. Химедзи), Окаяма, Хоккайдо (Отару, Саппоро), Канагава, г. Сагамихара, Тотиги и др., по данным сайтов Discover Life (https://www.discoverlife.org/), GBIF (https://www.gbif.org/), на нарушенных территориях (рис. 6).

Распространение на ДВР

Впервые на территории ДВР отмечен в 1975 г. в г. Хабаровске (Хабаровский край) на пустырях и обочинах дорог у края оврагов (Nechaev, Nechaev, 1978). В настоящее



Рис. 5. Точки произрастания *Helianthus rigidus* (Cass.) Desf. на ДВР

Fig. 5. Localities of *Helianthus rigidus* (Cass.) Desf. in the Russian Far East

время в Хабаровском крае используется как декоративная культура (Antonova, 2009).

В Амурской области встречается редко, только в культуре при озеленении придомовых территорий частного сектора или многоквартирных домов. В агроценозах не отмечен.

Распространения на территории ДВР вне культуры не получил. В Японии, наоборот, судя по представленным данным, значительно распространился на антропогенно нарушенных местообитаниях.

На территории ДВР были отмечены еще два вида подсолнечника: *H. laetiflorus* Pers. и *H. petiolaris* Nutt.

Первый в диком виде произрастает в поймах рек и лесах; происходит из северо-восточной части США (Zhukovsky, 1971; Balogh, 2008). Другая точка зрения о происхождении – от юго-востока центральной части США до северо-востока Канады (Schilling, 2006), что соответствует базе данных POWO (https://powo.science.kew.org/). Во «Флоре Северной Америки» *H. laetiflorus* рассматривается как гибрид между *H. tuberosus* и *H. pauciflorus*, который часто культивируется и убегает из культуры (Schilling, 2006).

Второй отмечен по всей территории США, за пределами западной части считается занесенным видом (Zhukovsky, 1971; Schilling, 2006). В некоторых работах (Balogh, 2008) указывается, что данный вид происходит из центральной и южной части США, а также южной части Канады. В настоящее время, согласно данным POWO (https://powo.science.kew.org/), естественный ареал проходит от Канады до Северной Мексики.

Во вторичном ареале в пределах Восточной Азии *H. petiolaris* известен из городского округа Гуанъюань провинции Сычуань и из р-на Дэхун-Дай-Качинского автономного округа провинции Юньнань, по данным сайта Discover Life (https://www.discoverlife.org/). Данных о распространении здесь *H. laetiflorus* нет.

На территории ДВР *H. laetiflorus* отмечен единожды в окрестностях Хабаровска (Barkalov, 1992). *H. petiolaris* отмечен также один раз в 1982 г. в окрестностях Владивостока (Приморский край) на ж.-д. насыпи (Barkalov, 1992). Сведений о повторном нахождении этих двух видов на территории ДВР в настоящее время нет.

Обсуждение и заключение

Одним из важнейших факторов, играющих большую роль в распространении растений, а также их реакции на изменяющиеся условия, является климат. Со второй половины XIX века глобальная средняя приземная темпе-



Рис. 6. Точки произрастания *Helianthus strumosus* L. на ДВР и в Восточной Азии
Fig. 6. Localities of *Helianthus strumosus* L. in the Russian Far East and in East Asia

ратура выросла на 1°C (предполагается, что до 2040 г. ее повышение достигнет или даже превысит 1,5°C), а также увеличилось количество осадков (которое оценивается в 5–10 мм/год) (Yamkovoy, 2014; Wu et al., 2014; Third assessment report…, 2022). Все это привело к изменению зимних, весенних и осенних температур, увеличению длительности безморозного периода. Вероятно, изменение климата способствовало расширению ареала многих видов, в том числе и синантропных. Зимние температуры определяют северные пределы ареала и многих заносных видов, а увеличение безморозного периода приводит к продвижению их на север.

Быстрой адаптации и распространению видов рода *Helianthus*, возможно, способствует их эколого-биологическая особенность, как и у практически всех видов семейства Asteraceae, поселяться на открытых участках (Brouillet et al., 2009).

Большую роль в расширении границ ареалов адвентивных растений играет и антропогенный фактор, то есть можно говорить об «антропогенно обусловленной» границе распространения данных видов.

Изменение экологических условий способствовало расширению ареала *H. annuus*, *H. tuberosus*, активно возделываемых на ДВР и в Восточной Азии, но эти виды вне культуры можно считать весьма локализованными на территориях с мягким, теплым и влажным климатом, но тяготеющими к сухим местообитаниям. Возможно, распространение на север и восток в большей степени регулируется зимними температурами и продолжительностью безморозного периода в весенний и осенний периоды, поскольку эдафические условия влияют опосредованно. Распространение остальных видов исследуемого рода незначительно. В большинстве случаев эти виды плохо адаптированы для произрастания вне культуры на территории ДВР. Отмеченное увеличение численности *H. annuus* subsp. *lenticularis* в агроценозах в Амурской области, вероятно, связано с плохо очищенным материалом сои. Другие виды подсолнечника в посевах сельскохозяйственных культур не встречаются.

Высокая степень распространенности *H. strumosus* в рудеральных сообществах Японии, в отличие от остальных исследуемых территорий, вероятно, связана с особыми климатическими условиями.

В целом физико-географическое положение Восточной Азии и ДВР, темпы и степень антропогенного влияния в этих регионах, а также глобальные изменения климатических условий способствовали успешной натурализации, но неравномерному распространению в различных нарушенных сообществах *H. annuus*, *H. tuberosus*, в отличие от *H. rigidus*, *H. laetiflorus*, *H. petiolaris*.

References / Литература

Anashchenko A.V. On the taxonomy of the genus *Helianthus* L. *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1974;59(10):1472-1481. [in Russian] (Анащенко А.В. К систематике рода *Helianthus* L. *Ботанический журнал*. 1974;59(10):1472-1481).

Antonova L.A. Alien flora cadastre of Khabarovsk Region. Khabarovsk: Far Eastern Branch of the RAS; 2009. [in Russian] (Антонова Л.А. Конспект адвентивной флоры Хабаровского края. Хабаровск: Дальневосточное отделение РАН; 2009).

Balogh L. Sunflower species (*Helianthus* spp.). In: Z. Botta-Dukát, L. Balogh (eds). *The Most Important Invasive Plants in Hungary*. Vácrátót: Institute of Ecology and Botany of the Hungarian Academy of Sciences; 2008. p.227-255.

Barkalov V.Yu. Flora of the Kuril Islands. Vladivostok: Dalnauka; 2009. [in Russian] (Баркалов В.Ю. Флора Курильских островов. Владивосток: Дальнаука; 2009).

Barkalov V.Yu. Genus 2. Sunflower – *Helianthus* L. (Rod 2. Podsolnechnik – *Helianthus* L.). In: S.S. Kharkevich (ed.). *Vascular Plants of the Soviet Far East. Vol. 6* (*Sosudistye rasteniya sovetskogo Dalnego Vostoka. T. 6*). St. Petersburg: Nauka; 1992. p.20-24. [in Russian] (Баркалов В.Ю. Род 2. Подсолнечник – *Helianthus* L. В кн.: *Сосудистые растения советского Дальнего Востока*. *Т. 6* / под. ред. С.С. Харкевича. Санкт-Петербург: Наука; 1992. С.20-24).

Barkalov V.Yu., Taran A.A. A checklist of vascular plants of Sakhalin Island. In: *Flora and Fauna of Sakhalin Island (Materials of International Sakhalin Island Project). Part 1.* Vladivostok: Dalnauka; 2004. p.39-66. [in Russian] (Баркалов В.Ю., Таран А.А. Список сосудистых растений острова Сахалин. В кн.: *Растительный и животный мир острова Сахалин (Материалы Международного сахалинского проекта). Часть 1*. Владивосток: Дальнаука; 2004. С.39-66).

Belaya G.A., Morozov V.L. Conspectus of the flora of vascular plants of the Jewish Autonomous Area (Konspekt flory sosudistykh rasteniy Yevreyskoy avtonomnoy oblasti). Birobidzhan: Institute for Complex Analysis of Regional Problems of the Far Eastern Branch of the RAS; 1995. [in Russian] (Белая Г.А., Морозов В.Л. Конспект флоры сосудистых растений Еврейской автономной области. Биробиджан: Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН; 1995).

Berezutsky M.A. Anthropogenic transformation of flora. *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1999;84(6):8-19. [in Russian] (Березуцкий М.А. Антропогенная трансформация флоры. *Ботанический журнал*. 1999;84(6):8-19).

Brouillet L., Lowrey T.K., Urbatsch L., Karaman-Castro V., Sancho G., Wagstaff S.J. et al. Phylogeny and evolution of the Astereae (Compositae or Asteraceae). In: V.A. Funk, A. Susanna, T. Stuessy, R. Bayer (eds). *Systematics, Evolution and Biogeography of the Compositae*. Vienna: IAPT; 2009. p.449-490.

Chen Y.S., Hind D.J.N. Heliantheae. In: Z.Y. Wu, P.H. Raven, D.Y. Hong (eds.). *Flora of China. Vol. 20–21 (Asteraceae)*. Beijing: Science Press; St. Louis, MO: Missouri Botanical Garden Press; 2011. p.852-878.

Chepelev R.D. Weed vegetation of the Amur region (Sornaya rastitelnost Priamurya). Blagoveshchensk: Khabarovsk Book Publishers; 1977. [in Russian] (Чепелев Р.Д. Сорная растительность Приамурья. Благовещенск: Хабаровское книжное издательство; 1977).

Cherepanov S.K. Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR) (Sosudistye rasteniya Rossii i sopredelnykh gosudarstv [v predelakh byvshego SSSR]). St. Petersburg: Mir i semya; 1995. [in Russian] (Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Санкт-Петербург: Мир и семья; 1995).

Chung K., Liu T. Database of native plants in Taiwan. Taiwan: TELDAP; 2020. DOI: 10.15468/h1txwb

Dgebuadze Yu.Yu. Alien species: environmental threat (Chuzherodnye vidy: ekologicheskaya ugroza). *Science in Russia*. 2013;(6):95-102. [in Russian] (Дгебуадзе Ю.Ю. Чужеродные виды: экологическая угроза. *Наука в России*. 2013;(6):95-102).

Discover Life: [website]. Available from: https://www.discoverlife.org/ [accessed Feb. 27, 2023].

Franke G., Hammer K., Hanelt P., Ketz H.A., Natho G., Reinbothe H. Fruits of the Earth (Plody Zemli). A.N. Sladkov (transl. from German). Moscow: Mir; 1979. [in Russian] (Франке Г., Хаммер К., Ханельт П., Кетц Г.А., Нато Г., Рейнботе Х. Плоды Земли / пер. с нем. А.Н. Сладкова. Москва: Мир; 1979).

Fukuda T., Antipin M.A., Loguntsev A.E., Bobyr' I.G., Taran A.A., Chernyagina O.A. et al. Alien plants of the South Kuril Islands. In: *Conservation of Biodiversity of Kamchatka and Coastal Waters Proceedings of XV international scientific conference; Petropavlovsk-Kamchatsky; November 18–19, 2014.* Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress; 2015. C.109-129. [in Russian] (Фукуда Т., Антипин М.А., Логунцев А.Е., Бобырь И.Г., Таран А.А., Чернягина О.А. и др. Заносные растения Южных Курильских островов. В кн.: *Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Доклады XV международной научной конференции; Петропавловск-Камчатский; 18–19 ноября 2014 г*. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс; 2015. С.109-129).

GBIF. Global Biodiversity Information Facility: [website]. Available from: https://www.gbif.org/ [accessed Feb. 27, 2023].

iNaturalist: [website]. Available from: https://www.inaturalist.org/ [accessed Feb. 27, 2023].

International Plant Names Index (IPNI). The Royal Botanic Gardens, Kew; Harvard University Herbaria; Libraries and Australian National Botanic Gardens: [website]. Available from: https://www.ipni.org/ [accessed Feb. 27, 2023].

Komarov V.L. 4. Sunflower – *Helianthus annuus* L. (4. Podsolnechnik – *Helianthus annuus* L.). In: *V.L. Komarov. Selected Works. Vol. 12* (*V.L. Komarov*. Izbrannye sochineniya. *T. 12).* Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1958. p.169-174. [in Russian] (Комаров В.Л. 4. Подсолнечник – *Helianthus annuus* L. В кн.: *В.Л. Комаров. Избранные сочинения. Т. 12.* Москва; Ленинград: АН СССР; 1958. С.169-174).

Komarov V.L., Klobukova-Alisova E.N. Key for the plants of the Far Eastern region of the USSR: in 2 volumes. Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1931. [in Russian] (Комаров В.Л., Клобукова-Алисова Е.Н. Определитель растений Дальневосточного края: в 2-х томах. Ленинград: АН СССР; 1931).

Kudrin S.G. New species of vascular plants to the flora of the Khingan Nature Reserve. *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal.* 2011;96(1):103-107. [in Russian] (Кудрин С.Г. Новые для флоры Хинганского заповедника виды сосудистых растений. *Ботанический журнал*. 2011;96(1):103-107).

Lim T.K. *Helianthus annuus*. In: T.K. Lim. *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants. Vol. 7: Flowers*. Dordrecht: Springer; 2014. p.372-396. DOI: 10.1007/978-94-007-7395-0_24

Lindley J. *Helianthus lenticularis*. In: *Edwards's Botanical Register: or, Ornamental Flower-Garden and Shrubbery. Vol. XV*. London: James Ridgway; 1829. p.1265. Available from: https://www.biodiversitylibrary.org/item/9051#page/146/mode/1up [accessed Feb. 27, 2023].

Lysenko D.S. Synantropic flora of Magadan Province (Sinantropnaya flora Magadanskoy oblasti). Magadan; 2012. [in Russian] (Лысенко Д.С. Синантропная флора Магаданской области. Магадан; 2012).

Mirkin B.M., Rosenberg G.S. Phytocenology. Principles and methods. (Fitotsenologiya. Printsipy i metody). Moscow: Nauka; 1978. [in Russian] (Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Фитоценология. Принципы и методы. Москва: Наука; 1978).

Moscow Digital Herbarium. National Depository Bank of Live Systems "Noah's Ark": [website]. [in Russian] (Цифровой гербарий МГУ. Национальный банк-депозитарий живых систем «Ноев Ковчег»: [сайт]). URL: https://plant.depo.msu.ru/ [дата обращения: 11.07.2022].

National Institute for Environmental Studies (NIES). Invasive Species of Japan: [website]. Available from: https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/index_en.html [accessed Feb. 27, 2023].

Nechaev A.P., Nechaev A.A. Supplements to the flora of the Lower Amur region (Dopolneniya k flore nizhnego Priamurya). *Bulletin Main Botanical Garden*. 1978;(108):27. [in Russian] (Нечаев А.П., Нечаев А.А. Дополнения к флоре нижнего Приамурья. *Бюллетень Главного ботанического сада*. 1978;(108):27).

Nechaeva T.I. Adventive flora of Primorsky Territory (Adventivnaya flora Primorskogo kraya). *Komarovskiye chteniya = Komarov Readings*. 1984;(31):46-88. [in Russian] (Нечаева Т.И. Адвентивная флора Приморского края. *Комаровские чтения*. 1984;(31):46-88).

Nedoluzhko V.A., Denisov N.I. The second addition to vascular flora of the Russian Island (Peter the Great Bay, Sea of Japan). *Turczaninowia*. 2000;3(4):70-78. [in Russian] (Недолужко В.А., Денисов Н.И. Второе дополнение к флоре сосудистых растений Русского острова (залив Петра Великого, Японское море). *Turczaninowia*. 2000;3(4):70-78).

Nedoluzhko V.A., Denisov N.I. Vascular plants of the Russki Island (the Peter the Great Bay, Sea of Japan). *Komarovskiye chteniya = Komarov Readings*. 2001;(48):55-84. [in Russian] (Недолужко В.А., Денисов Н.И. Сосудистые растения острова Русский (залив Петра Великого, Японское море). *Комаровские чтения*. 2001;(48):55-84).

Nooryazdan H., Serieys H., Baciliéri R., David J.L., Bervillé A.J. Structure of wild annual sunflower (*Helianthus annuus* L.) accessions based on agro-morphological traits. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2009;57(1):27-39. DOI: 10.1007/s10722-009-9448-9

Plants of the World Online (POWO): [website]. Available from: https://powo.science.kew.org/ [accessed Feb. 27, 2023].

Rawat L.S., Maikhuri R.K., Bahuguna Y.M., Jha N.K., Phondani P.C. Sunflower allelopathy for weed control in agriculture systems. *Journal of Crop Science and Biotechnology.* 2017;20(1):45-60. DOI: 10.1007/s12892-016-0093-0

Rojas-Sandoval J. *Helianthus annuus* (sunflower). *CABI Compendium*. 2022;714:1-18. DOI: 10.1079/cabicompendium.26714

Rubtsova T.A. Flora of Jewish Autonomous Region. Birobidzhan: Institute for Complex Analysis of Regional Problems of the Far Eastern Branch of the RAS; 2017. [in Russian] (Рубцова Т.А. Флора Еврейской автономной области. Биробиджан: Биробиджан: Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН; 2017).

Rubtsova T.A. Flora of the Lesser Khingan (Flora Malogo Khingana). Vladivostok: Dalnauka; 2002. [in Russian] (Рубцова Т.А. Флора Малого Хингана. Владивосток: Дальнаука; 2002).

Schilling E.E. *Helianthus*. In: *Flora of North America North of Mexico*. *Vol. 21: Magnoliophyta: Asteridae, Part 8: Asteraceae, Part 3, Asterales, Part 3 (Aster order).* Oxford; New York, NY: Oxford University Press; 2006. p.141-167.

Schilling E.E., Heiser C.B. Infrageneric classification of *Helianthus* (Compositae). *Taxon*. 1981;30(2):393-403. DOI: 10.2307/1220139

Senator S.A., Nikitin N.A., Saksonov S.V., Rakov N.S. Factors determining the formation of flora of the railways. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2012;14(1):261-266. [in Russian] (Сенатор С.А., Никитин Н.А., Саксонов С.В., Раков Н.С. Факторы, определяющие формирование флоры железных дорог. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012;14(1):261-266).

Shi Z., Chen Y.L., Chen Y., Lin Y., Liu S., Ge X. et al. Asteraceae (Compositae). In: Z. Wu, P.H. Raven, D.Y. Hong (eds). *Flora of China*. *Vol. 20-21 (Asteraceae)*. Beijing: Science Press; St. Louis, MO: Missouri Botanical Garden Press; 2011. p.1-8.

Starchenko V.M. Adventive flora of the Bureya river valley (Amur Oblast). *Scholarly Notes of Transbaikal State University*. 2016;11(1):52-58. [in Russian] (Старченко В.М. Адвентивная флора долины Буреи (Амурская область). *Ученые записки Забайкальского государственного университета*. 2016;11(1):52-58).

Starchenko V.M. Flora of Amur region and problems of its conservation. Far East of Russia. Moscow: Nauka; 2008. [in Russian] (Старченко В.М. Флора Амурской области и вопросы ее охраны. Дальний Восток России. Москва: Наука; 2008).

Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary (Tretiy otsenochny doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Obshcheye rezyume). St. Petersburg: Naukoyemkiye Tekhnologii; 2022. [in Russian] (Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. Санкт-Петербург: Наукоемкие технологии; 2022). URL: https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf_download/compressed.pdf [дата обращения: 23.05.2023].

Today is 2017, has at least one agricultural enterprise started growing sunflowers in Primorsky Territory? (Segodnya 2017 goda, nu khot kto-libo iz selkhozpredpriyatiy nachal vyrashchivat podsolnechnik v Primorye?). Vladivostok: Ministry of Agriculture of Primorsky Territory; 2017. [in Russian]. (Сегодня 2017 года, ну хоть кто-либо из сельхозпредприятий начал выращивать подсолнечник в Приморье? Владивосток: Министерство сельского хозяйства Приморского края; 2017). URL: http://www.agrodv.ru/content/segodnya-2017-goda-nu-khot-kto-libo-iz-selkhozpredpriyatii-nachal-vyrashchivat-podsolnechnik [дата обращения: 30.05.2023].

Uljanova T.N. Segetal flora of the Primorskij region (Far East). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1978;63(7):1004-1016 [in Russian] (Ульянова Т.Н. Сегетальная флора Приморского края. *Ботанический журнал*. 1978;63(7):1004-1016).

Ulyanova T.N. Weeds in the flora of Russia and neighboring states (Sornye rasteniya vo flore Rossii i sopredelnykh

gosudarstv). Barnaul: Azbuka; 2005. [in Russian] (Ульянова Т.Н. Сорные растения во флоре России и сопредельных государств. Барнаул: Азбука; 2005).

Vavilov N.I. Selected works in two volumes. Vol. I (Izbrannye proizvedeniya v dvukh tomakh. T. I). St. Petersburg: Nauka; 1967. [in Russian] (Вавилов Н.И. Избранные произведения в двух томах. Т. I. Санкт-Петербург: Наука; 1967).

Veklich T.N. Flora and fauna of nature reserves. Issue 125. Vascular plants of the Zeysky State Nature Reserve (Annotated list of species) (Flora i fauna zapovednikov. Vyp. 125. Sosudistye rasteniya Zeyskogo zapovednika [Annotirovanny spisok vidov]). Moscow: Commission of the RAS for Biological Diversity Conservation; 2016. [in Russian] (Веклич Т.Н. Флора и фауна заповедников. Вып. 125. Сосудистые растения Зейского заповедника (Аннотированный список видов) / под ред. В.М. Старченко. Москва: Комиссия РАН по сохранению биологического разнообразия; 2016).

Vinogradova Yu.K., Antonova L.A., Darman G.F., Devyatova E.A., Kotenko O.V., Kudryavtseva E.P., Lesik (Aistova) E.V., Marchuk E.A., Nikolin E.G., Prokopenko S.V., Rubtsova T.A., Khoreva M.G., Chernyagina O.A., Chubar E.A., Sheyko V.V., Krestov P.V. Black Book of the Flora of the Far East; Invasive Plant Species in Ecosystems of the Far Eastern Federal District (Chernaya kniga flory Dalnego Vostoka: invazionnye vidy rasteniy v ekosistemakh Dalnevostochnogo Federalnogo Okruga). Moscow: KMK; 2021. [in Russian] (Виноградова Ю.К., Антонова Л.А., Дарман Г.Ф., Девятова Е.А., Котенко О.В., Кудрявцева Е.П. Лесик (Аистова) Е.В., Марчук Е.А., Николин Е.Г., Прокопенко С.В., Рубцова Т.А., Хорева М.Г., Чернягина О.А., Чубарь Е.А., Шейко В.В., Крестов П.В. Черная книга флоры Дальнего Востока: инвазионные виды растений в экосистемах Дальневосточного Федерального Округа. Москва: КМК; 2021).

Vinogradova Yu.K., Kupriyanov A.N. (eds). Black Book of Siberian Flora (Chernaya kniga flory Sibiri). Novosibirsk: Geo; 2016. [in Russian] (Черная книга флоры Сибири / под ред. Ю.К. Виноградовой, А.Н. Куприянова. Новосибирск: Гео; 2016). URL: http://kuzbs.ru/images/stories/pdf/izdania/chernaya_kniga_flori_sibiri.pdf [дата обращения: 21.92.2023].

Vinogradova Yu.K., Mayorov S.R., Khorun L.V., Dgebuadze Yu.Yu., Severova E.E., Shcherbakov A.P., Kuklina A. Black Book of the Flora of Central Russia. Alien Plant Species in Ecosystems (Chernaya kniga flory Sredney Rossii. Chuzherodnye vidy rasteniy v ekosistemakh). Moscow: GEOS; 2010. [in Russian] (Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В., Дгебуадзе Ю.Ю., Северова Е.Э., Щербаков А.П., Куклина А. Черная книга флоры Средней России. Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. Москва: ГЕОС; 2010).

Wan F.H., Jiang M., Zhan A. (eds). Biological invasions and its management in China. Vol. 2. Singapore: Springer Nature; 2017. DOI: 10.1007/978-981-10-3427-5

We don't mind taking photos, but do not tear or litter – owners of a sunflower field in Primorsky Territory (My ne protiv foto, no ne nado rvat i musorit – sobstvenniki polya podsolnukhov v Primorye). Vladivostok: PrimaMedia; 2020. [in Russian] (Мы не против фото, но не надо рвать и мусорить – собственники поля подсолнухов в Приморье. Владивосток: PrimaMedia; 2020). URL: https://primamedia.ru/news/980406/?from=37 [дата обращения: 27.07. 2023].

World Flora Online (WFO). WFO Plant List: [website]. Available from: https://wfoplantlist.org/ [accessed Feb. 27, 2023].

Wu S., Huang J., Liu Y., Gao J., Yang J., Wang W. et al. Pros and cons of climate change in China. *Chinese Journal of Population Resources and Environment*. 2014;12(2):95-102. DOI: 10.1080/10042857.2014.910878

Yamkovoy V.A. Global warming on the example of the Amur Region. *Problemy ekologii Verkhnego Priamurya = Problems of Ecology in the Upper Amur Region*. 2014;16:53-63. [in Russian] (Ямковой В.А. Глобальное потепление в Амурской области. *Проблемы экологии верхнего Приамурья*. 2014;16:53-63).

Zhukovsky P.M. Cultivated plants and their relatives: systematics, geography, cytogenetics, immunity, ecology, origin, utilization (Kulturnye rasteniya i ikh sorodichi: sistematika, geografiya, tsitogenetika, immunitet, ekologiya, proiskhozhdeniye, ispolzovaniye). Leningrad: Kolos; 1971. [in Russian] (Жуковский П.М. Культурные растения и их сородичи: систематика, география, цитогенетика, иммунитет, экология, происхождение, использование. Ленинград: Колос; 1971).

Информация об авторах

Елена Васильевна Лесик, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Ботанический сад-институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, Амурский филиал, 675000 Россия, Благовещенск, Игнатьевское ш., 2-й км, stork-e@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2420-9610

Ирина Анатольевна Крещенок, кандидат биологических наук, преподаватель, Амурская государственная медицинская академия, 675001 Россия, Благовещенск, ул. Горького, 95, ikreshhenok@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-3023-6159

Галина Владимировна Таловина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, g.talovina@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0001-6167-1455

Information about the authors

Elena V. Lesik, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Amur Branch, 2nd km, Ignatyevskoye Hwy., Blagoveshchensk 675000, Russia, stork-e@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2420-9610

Irina A. Kreshchenok, Cand. Sci. (Biology), Lecturer, Amur State Medical Academy, 95 Gorkogo St., Blagoveshchensk 675001, Russia, ikreshhenok@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-3023-6159

Galina V. Talovina, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, g.talovina@vir.nw.ru, https://orcid.org/0000-0001-6167-1455

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 10.04.2024; одобрена после рецензирования 22.07.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 10.04.2024; approved after reviewing on 22.07.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 633.16:632.26/938.1
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-239-255

CC BY

Устойчивость сортов и образцов ячменя к патотипам возбудителя темно-бурой пятнистости

Н. М. Лашина, О. С. Афанасенко

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Нина Михайловна Лашина, nlashina@mail.ru

Актуальность. Темно-бурая пятнистость, вызываемая гемибиотрофным грибом *Bipolaris sorokiniana*, является распространенной и вредоносной болезнью ячменя. Обеспечение селекции донорами устойчивости к вредоносным болезням – актуальная задача.
Материалы и методы. Материалом для изучения послужили 100 образцов ячменя с различным уровнем устойчивости к *B. sorokiniana*, которые были отобраны в результате многолетних исследований в лаборатории иммунитета растений к болезням Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений при оценке коллекционного материала ВИР. Использовали 11 изолятов *B. sorokiniana* различного географического происхождения, относящихся к четырем патотипам. Устойчивость проростков ячменя оценивали в лабораторных контролируемых условиях, а взрослых растений – на искусственном инфекционном фоне.
Результаты и выводы. Выявлены генотипы ячменя, отличающиеся расоспецифической устойчивостью к возбудителю темно-бурой пятнистости. Среднее количество устойчивых генотипов ячменя к пяти изолятам *B. sorokiniana* патотипа 1 составило 24,2%, к двум изолятам патотипа 3 – 29,5%, к трем изолятам патотипа 7 – 18,3% и к одному изоляту патотипа 0 – 37%. Выявлены образцы, проявившие устойчивость в проростках, но восприимчивость в фазе молочно-восковой спелости и, наоборот, восприимчивость в проростках и устойчивость взрослых растений. К патотипу 1 ювенильную и взрослую устойчивость показали шесть генотипов, к патотипу 3 – девять генотипов и к патотипу 7 – два генотипа. Образцы ячменя с устойчивостью ко всем изолятам патогена не выявлены.

Ключевые слова: *Bipolaris sorokiniana*, расоспецифическая устойчивость, источники устойчивости, вирулентность

Благодарности: исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 24-26-0002.
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Лашина Н.М., Афанасенко О.С. Устойчивость сортов и образцов ячменя к патотипам возбудителя темно-бурой пятнистости. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):239-255. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-239-255

© Лашина Н.М., Афанасенко О.С., 2024

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-239-255

Resistance of barley cultivars and accessions to pathotypes of the spot blotch causative agent

Nina M. Lashina, Olga S. Afanasenko

All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Nina M. Lashina, nlashina@mail.ru

Background. The spot blotch disease caused by the hemibiotrophic fungus *Bipolaris sorokiniana* has become a serious problem for barley. Utilization of resistant or tolerant barley cultivars ensures sustainable diversity conservation and environment-friendly crop production. Thus, supplying barley breeders with sources of resistance to harmful diseases is an urgent task.
Materials and methods. A set of 100 barley accessions, earlier selected for different levels of resistance to *B. sorokiniana*, served as the material for this study. Eleven isolates of *B. sorokiniana* of various geographic origin, belonging to 4 pathotypes, were used for testing. The resistance of barley seedlings was assessed under controlled laboratory conditions, and that of adult plants under artificial infection pressure in the field. Responses to *B. sorokiniana* were scored using the 0–9 rating scale.
Results and conclusions. Barley genotypes with race-specific resistance to the spot blotch causative agent were identified. The percentage of barley genotypes resistant to five isolates of *B. sorokiniana* pathotype 1 averaged 24.2%; two isolates of pathotype 3, 29.5%; three isolates of pathotype 7, 18.3%; and one isolate of pathotype 0, 37%. Barley accessions manifesting resistance in their seedlings, but susceptible in the phase of milk-wax ripeness, and vice versa, with seedling susceptibility and adult resistance, were identified. Six (6) barley genotypes showed seedling and adult resistance to pathotype 1, nine (9) to pathotype 3, and two (2) to pathotype 7. No barley accessions resistant to all isolates of the pathogen were found.

Keywords: *Bipolaris sorokiniana*, race-specific resistance, sources of resistance, virulence

Acknowledgements: the research was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Grant No. 24-26-0002.
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Lashina N.M., Afanasenko O.S. Resistance of barley cultivars and accessions to pathotypes of the spot blotch causative agent. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):239-255. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-239-255

Введение

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) является основной кормовой культурой, ценным сырьем для пивоваренной промышленности и диетического питания для человека. Ячмень занимает четвертое место в мире по производству зерна, ежегодный объем которого составляет около 150 миллионов тонн, следуя после пшеницы, риса и кукурузы (Giraldo et al., 2019), и выращивается на площади почти 50 миллионов гектаров (FAO Statistical Yearbook…, 2021).

По итогам 2023 г. посевная площадь ячменя в России достигла отметок в 7986,6 тыс. га, что на 0,1% (10,5 тыс. га) превышает показатели 2022 г. (Veselova, 2023). Одним из факторов снижения урожая зерновых культур является их поражаемость болезнями. В последние годы темно-бурая пятнистость, вызываемая гемибиотрофным грибом *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (syn. *Cochliobolus sativus* (Ito & Kuribayashi) Drechs. ex Dastur), стала серьезной проблемой для ячменя.

Возбудитель болезни широко специализирован, поражает 52 рода семейства злаковых, а также 15 родов незлаковых растений (Bashyal et al., 2011; Gupta et al., 2018). Широкий круг хозяев *B. sorokiniana* приводит к высокой генетической изменчивости патогена (Verma et al., 2020; Wu et al., 2020). Из 36 изученных изолятов Северной Дакоты (США) на трех дифференциаторах ячменя (Bowman, ND 5883 и NDB 112) было выявлено 3 патотипа, обозначенные как 0, 1 и 2 (Valjavec-Gratian, Steffenson, 1997a) в соответствии с триплетной номенклатурой, описанной в работе E. Limpert с соавторами (Limpert et al., 1994). Двурядный, умеренно устойчивый к *B. sorokiniana* сорт ‘Bowman’ после возделывания в течение шести лет в Западной Дакоте стал сильно поражаться возбудителем темно-бурой пятнистости. T. G. Fetch Jr., B. J. Steffenson (1999) показали, что устойчивость к патогену сорта ‘Bowman’ была эффективна против изолята ND 85F (патотип 1), который регулярно использовался для оценки устойчивости генотипов ячменя, в том числе и в селекции. Появление в популяции гриба другого патотипа, представленного изолятом ND 90Pr (патотип 2), явилось причиной эпифитотии на посевах этого сорта. Изолят ND 90Pr проявлял вирулентность к сорту ‘Bowman’, но был авирулентен на генотипе ячменя ND 5883, а изолят ND 85F был вирулентным к ND 5883. Оба изолята проявили авирулентность к шестирядному генотипу ячменя NDB 112, который являлся источником устойчивости к возбудителю темно-бурой пятнистости у шестирядных сортов (Steffenson et al., 1996). Селекционная линия NDB 112, таким образом, обладает устойчивостью к обоим патотипам. Y. Leng et al. (2016) изучили устойчивость более 2000 образцов ячменя к изоляту ND 4008 из Северной Дакоты и идентифицировали новый патотип, обозначенный как патотип 7, который проявляет высокую вирулентность на всех трех дифференциаторах ячменя: Bowman, ND 5883 и NDB 112.

Изучение 34 австралийских изолятов на 20 дифференциаторах позволило выявить 6 патотипов (Meldrum et al., 2004). Среди 127 изолятов *B. sorokiniana*, собранных в Канаде и других регионах мира, на 12 сортах-дифференциаторах было выявлено восемь групп, различающихся по вирулентности (Ghazvini, Tekauz, 2008). Согласно статистическому анализу популяции патогена по вирулентности, было показано наличие трех основных патотипов (Ghazvini, Tekauz, 2012).

Гриб *B. sorokiniana* является возбудителем не только листовой пятнистости, но и обыкновенной корневой гнили и «черного зародыша» у зерновых культур (Chand, Joshi, 2004). Болезни, вызванные *B. sorokiniana*, могут привести к потере урожая до 80% (Banu et al., 1998). Помимо прямых потерь урожая, патоген отрицательно влияет на качество зерна, что часто делает зерно непригодным для получения солода в пивоваренной промышленности. В результате многолетних исследований микобиоты свежеубранного зерна ячменя было установлено, что гриб *B. sorokiniana* присутствовал в каждом из 100 изученных образцов пивоваренного ячменя, при этом средние значения уровня зараженности семян грибом колебались от 21 до 51%, а максимум составлял 98% (Volkova et al., 2018).

В связи с изменением климатических условий, а особенно с потеплением в Северо-Западном регионе России, эпифитотии темно-бурой пятнистости случаются раз в три-четыре года (Afanasenko et al., 2015), а в течение последнего десятилетия возникали каждые 2–3 года (Lashina, Afanasenko, 2019). Хотя применение фунгицидов достаточно эффективно помогает в борьбе с возбудителем темно-бурой пятнистости, использование устойчивости растения-хозяина является наиболее экономически и экологически обоснованным подходом для защиты ячменя от данной болезни и единственно возможным способом защиты в органическом растениеводстве. В связи с этим создание устойчивых или выносливых к болезням сортов является важным направлением в селекции зерновых культур.

Устойчивость к *B. sorokiniana* может проявляться в фазе проростков, взрослых растений или на всех фазах развития растений. Поэтому при поиске источников устойчивости используют методы искусственного заражения проростков в условиях теплицы и взрослых растений в поле.

Целью данного исследования являлась характеристика ювенильной и взрослой устойчивости к патотипам возбудителя темно-бурой пятнистости отечественных и зарубежных сортов ячменя, а также образцов из центров генетического разнообразия культуры.

Материалы и методы

Сорта и образцы ячменя

Материалом для изучения послужила коллекция из 100 образцов ячменя, полученных из Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Данные образцы, различающиеся по уровню устойчивости, были отобраны в результате многолетних исследований в лаборатории иммунитета растений к болезням Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР) при оценке коллекционного материала ВИР (Lashina, 2015; Novakazi et al., 2020).

Данная коллекция ячменя включает в себя 40 сортов и селекционных линий различного географического происхождения (табл. 1), в том числе линию NDB 112 и сорт ‘Morex’ с известным геном устойчивости *Rcs5*, а также 60 местных образцов из Абиссинского, Переднеазиатского, Восточноазиатского, Центральноазиатского, Средиземноморского и других центров генетического разнообразия культуры (табл. 2). Среди изучаемых образцов ячменя 30 были двурядные, остальные 70 – шестирядные.

Таблица 1. Происхождение сортов и селекционных линий ячменя
Table 1. Origin of barley cultivars and breeding lines

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Сорт, линия / Cultivar or breeding line	Происхождение / Origin	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Сорт, линия / Cultivar or breeding line	Происхождение / Origin
30453	‘Зерноградский 813’	Россия	17262	‘Spratt’	Великобритания
22022	‘Tselinny 5’	Казахстан	30479	‘Novosadski 501’	Югославия
11025	‘Ehime-ken’	Япония	30617	КМ-1485-1475	Чехия
11139	‘Shiromugi’	Япония	30741	‘City’	Франция
19275	‘Sumeri Mochi’	Япония	29192	‘Diamond’	Канада
20277a	‘Musashinomugi’	Япония	19304	‘Keystone’	Канада
20277b	‘Musashinomugi’	Япония	18505	‘Fort’	Канада
20497	‘Saga hadaka n3’	Япония	18716	‘Ogalitsu’	Канада
18523b	‘Krest’yanskij’	Китай	18755	‘Benton’	Канада
18269	‘Gyu-vy-maj’	Китай	29737	BVN 66-2	Канада
5208	‘Cowra 37’	Австралия	30029	‘Noble’	Канада
15355	‘Bore’	Австралия	30408	‘Virden’	Канада
29577	‘Cantala’	Австралия	30035	‘Excel’	США
29592	‘O‘Connor’	Австралия	18760a	‘Tifang’	США
19643	‘Sudan’	Индия	18760b	‘Tifang’	США
19646	‘Quinn’	Индия	29576	‘Bowman’	США
5502	‘Naushera’	Индия	26959	‘Morex’	США
28664	S-301	Мексика	3267	‘Hooded Jet’	США
29709	EH 532/F2-5B-4	Мексика	25283	C.I. 4922	США
25078	‘Tlaxcala’	Мексика	NDB 112	C.I. 11531	США
Контроли:	**‘Pirkka’**	Финляндия		**Cherio**	Дания
	‘Harrington’	Канада			

Изоляты B. sorokiniana

В исследовании использовали 11 моноконидиальных изолятов *B. sorokiniana* различного географического происхождения (табл. 3). Выделение в чистую культуру, получение моноспоровых изолятов, размножение и сохранение коллекции подробно описаны в наших работах (Bykova et al., 2017; Novakazi et al., 2020).

Все изоляты были протестированы по вирулентности на подобранном нами наборе из сортов-дифференциаторов (табл. 4). В набор были включены три генотипа ячменя – ‘Bowman’ (к-29576), ND 5883 и NDB 112, с использованием которых в исследованиях M. Valjavec-Gratian, B. J. Steffenson (1997b) и Y. Leng et al. (2016) были определены 4 патотипа *B. sorokiniana*. Деление изолятов *B. sorokiniana* на патотипы проводили согласно типам реакции на генотипах Bowman, ND 5883 и NDB 112 (см. табл. 4). Изучение вирулентности 11 изолятов к этим сортам-дифференциаторам позволило выявить 3 патотипа, описанных ранее (Valjavec-Gratian, Steffenson, 1997a; Ghazvini, Tekauz, 2012; Leng et al., 2016) и один не идентифицированный ранее патотип. К патотипу 0 был отнесен изолят L1, авирулентный к трем сортам-дифференциаторам, к патотипу 1 – изоляты, вирулентные к ND 5883 и авирулентные к Bowman и NDB 112 (изоляты VCH31, Ch3, Br18, ЭСИ 215 2.8 и O19.3), к патотипу 7 – вирулентные к трем сортам-дифференциаторам (изоляты Can1, O18.2, Cz29). Два изолята – КСИ 33 1.1 и Br13 – были авирулентны к NDB 112, но вирулентны к Bowman и ND 5883, что не было описано у M. Valjavec-Gratian, B. J. Steffenson (1997a) и Y. Leng et al. (2016), и мы определили их как патотип 3. Большинство российских изолятов, а также изолят Br18 из Беларуси были определены как патотип 1.

Следует отметить, что тип реакции, отнесенный к баллу 5, является промежуточным и может быть интерпретирован как вирулентность, так и как авирулентность. При определении патотипов мы отнесли балл 5 к вирулентности. Однако если балл 5 определить как

Таблица 2. Происхождение местных образцов ячменя из центров генетического разнообразия культуры
Table 2. Origin of barley landraces from the centers of the crop's genetic diversity

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Происхождение / Origin	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Происхождение / Origin
4059	Восточноазиатский, Монголия	2710	Центральноазиатский, Казахстан
4071	Восточноазиатский, Монголия	8654	Центральноазиатский, Узбекистан
8332	Восточноазиатский, Монголия	28232	Центральноазиатский, Узбекистан
11162	Восточноазиатский, Япония	14936	Центральноазиатский, Таджикистан
11189	Восточноазиатский, Япония	21490	Центральноазиатский, Таджикистан
21472	Восточноазиатский, Япония	838	Юго-западно-азиатский, Грузия
15811	Восточноазиатский, Китай	8721b	Абиссинский, Эфиопия
15812	Восточноазиатский, Китай	8723	Абиссинский, Эфиопия
15872	Восточноазиатский, Китай	8726	Абиссинский, Эфиопия
6850	Переднеазиатский, Турция	19979	Абиссинский, Эфиопия
6913	Переднеазиатский, Турция	20169	Абиссинский, Эфиопия
7694	Переднеазиатский, Турция	23874	Абиссинский, Эфиопия
7713	Переднеазиатский, Турция	25273	Абиссинский, Эфиопия
7751	Переднеазиатский, Турция	25274	Абиссинский, Эфиопия
7765b	Переднеазиатский, Турция	29720	Абиссинский, Эфиопия
8960b	Переднеазиатский, Турция	8852	Абиссинский, Египет
9004	Переднеазиатский, Турция	21578	Южноамериканский, Эквадор
6816	Переднеазиатский, Турция	30008	Южноамериканский, Перу
6827	Переднеазиатский, Турция	30337	Южноамериканский, Перу
6879	Переднеазиатский, Турция	30351	Южноамериканский, Перу
6880	Переднеазиатский, Турция	4355	Новосветский, Канада
6894	Переднеазиатский, Турция	15402b	Новосветский, США
7751	Переднеазиатский, Турция	5470	Средиземноморский, Кипр
3108	Центральноазиатский, Туркменистан	8787	Средиземноморский, Италия
3114	Центральноазиатский, Туркменистан	8812	Средиземноморский, Италия
5059	Центральноазиатский, Туркменистан	18636	Средиземноморский, Португалия
5900	Центральноазиатский, Туркменистан	4306	Юг Европейской части России, Дагестан
10095	Центральноазиатский, Туркменистан	15185	Юг Европейской части России, Дагестан
11777	Центральноазиатский, Кыргызстан	21763	Юг Европейской части России, Дагестан
11993	Центральноазиатский, Кыргызстан	21772	Юг Европейской части России, Дагестан

авирулентность, то к патотипу 7 (вирулентность к трем дифференциаторам) будет отнесен только изолят из Канады Can1.

Оценка ювенильной устойчивости к B. sorokiniana

Устойчивость проростков ячменя оценивали в контролируемых условиях климатической комнаты ВИЗР. Растения высевали в контейнеры размером 18 × 13 × 6 см с почвогрунтом Terra Vita® объемом 1000 мл по 11 образцов в каждый. Один образец был представлен четырьмя растениями. В качестве контроля использовали восприимчивые сорта 'Harrington', 'Cherio' и 'Pirkka', которые высевали в каждый контейнер. Растения культивировали в течение двух недель при температуре 20–22°C

Таблица 3. **Происхождение изолятов *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker**
Table 3. **Origin of *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker isolates**

Изолят / Isolate	Место сбора / Origin	Сорт ячменя / Barley cultivar	Год сбора / Harvest year
L 1	Россия, Ленинградская область, г. Волосово, д. Клопицы	'Фермер'	2018
VCH 31	Россия, Ленинградская область, г. Волосово, д. Клопицы	'Chif'	2012
Ch 3	Россия, Ленинградская область, г. Волосово, д. Клопицы	'Cherio'	2016
Br 13	Республика Беларусь, Минская область, г. Жодино	'Бровар'	2017
Br 18	Республика Беларусь, Минская область г. Жодино	'Бровар'	2017
Cz 29	Словацкая Республика, г. Ба́новце	Не известен	2014
Can 1	Канада, провинция Альберта	'Vivar'	2008
O 18.2	Россия, г. Омск	Не известен	2018
O 19.3	Россия, г. Омск	Не известен	2018
ЭСИ 215 2.8	Республика Татарстан, зона Предкамья, Лаишевский район, с. Большие Кабаны	'Омский голозерный 1'	2022
КСИ 33 1.1	Республика Татарстан, зона Предкамья, Лаишевский район, с. Большие Кабаны	Линия к-180-20	2022

Таблица 4. **Характеристика вирулентности изолятов *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker к набору из 11 сортов-дифференциаторов**
Table 4. **Virulence of *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker isolates to a set of 11 differential cultivars**

Генотип-ячменя/ Barley genotype	Тип реакции на заражение изолятами *B. sorokiniana*, балл/ Type of seedling response to infection with *B. sorokiniana* isolates, score										
	VCH31	Ch3	L1	Br13	Br18	Cz29	Can1	O18.2	O19.3	ЭСИ 215 2.8	КСИ 33 1.1
Morex (*Rcs5*)	3	4	3	4	4	5	7	5	3	4	5
TR 251	3	2	2	3	4	5	5	1	1	2	6
ND 23180	9	5	6	5	6	4	8	3	6	4	5
к-2186	9	6	5	3	7	8	9	7	6	6	5
к-8383	8	8	3	3	3	7	5	6	5	7	6
к-8726	7	4	6	5	8	3	4	6	6	5	4
к-8721	4	5	4	4	8	5	2	6	6	6	4
к-8953	7	2	5	5	9	6	7	5	5	2	6
Дифференциаторы по M. Valjavec-Gratian, B. J. Steffenson (1997a) / Differentials according to M. Valjavec-Gratian, B. J. Steffenson (1997a)											
ND 5883	8	9	4	5	8	7	8	8	5	6	9
NDB 112 (*Rcs5*)	2	3	2	4	4	5	6	5	2	2	4
Bowman	3	4	3	6	4	9	7	5	3	4	7

Примечание: типы реакции 0–4 отнесены к устойчивости (R), 5 – промежуточная реакция (MR/MS) и 6–9 – восприимчивость (S)
Note: response types 0–4 pertain to resistance (R), 5 to intermediate response (MR/MS), and 6–9 to susceptibility (S)

с освещением 16 ч в сутки. Эксперимент проводили в трех повторностях. Инокуляцию растений проводили в фазу 2–3-х листьев суспензией гриба *B. sorokiniana* в концентрации 10 000–15 000 конидий на 1 мл. После инокуляции растения накрывали полиэтиленовыми пакетами и оставляли на 48 ч при температуре 20–22°C без света. Через двое суток инокулированные растения помещали в светоустановки, поддерживая влажность воздуха 60–70% с использованием увлажнителя воздуха марки AirInCom (AIC), модель SPS-718. Тип реакции на заражение оценивали в баллах на втором листе каждого растения по шкале T. G. Fetch Jr., B. J. Steffenson (1999) на 8–10 сутки после инокуляции. Шкала учитывает размер поражений, их форму и наличие хлороза (табл. 5). Она наиболее популярна в мире при оценке устойчивости растений к патогену (Afanasenko et al., 2015). Мы модифицировали данную шкалу для разделения баллов 4 (MR) и 5 (MS) (см. табл. 5).

теля ОП-220 суспензией гриба в концентрации 40 000–50 000 конидий в 1 мл воды по 200 мл на 1 м^2 в вечернее время суток. Для улучшения контакта конидий с поверхностью листа к суспензии добавляли 100 мкл/л поверхностно-активного вещества Tween 80. Растения после заражения укрывали полиэтиленовой пленкой, закрепленной на металлические дуги; через двое суток влажные камеры снимали. Спустя две недели проводили контрольное обследование посевов. Оценка устойчивости образцов ячменя проводилась в фазу молочно-восковой спелости зерна (BBCH 83–85) (BBCH scale…, 2015). Тип реакции в баллах оценивали на флаговом и втором листе сверху каждого растения по 9-балльной шкале и определяли развитие болезни в процентах. Впоследствии образцы ячменя, оцененные по девятибалльной шкале, были распределены на четыре класса по устойчивости, как описано у T. G. Fetch Jr., B. J. Steffenson (1999) для взрослой устойчивости (рис. 1).

Таблица 5. Характеристика типов реакции на инокуляцию *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker на втором листе проростков ячменя по модифицированной шкале T. G. Fetch Jr., B. J. Steffenson (1999)

Table 5. Types of response to *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker on the second barley leaf according to the modified scale by T. G. Fetch Jr., B. J. Steffenson (1999)

Балл / Score	Размер и тип поражения / Size and type of injury		Характеристика устойчивости / Resistance level
	Диаметр некроза, длина/ширина, мм / Necrosis diameter and length/width, mm	Наличие хлороза / Presence of chlorosis	
1–2	0,3–0,7/0,3–0,5	Отсутствует	R
3	0,8–1,3/0,5–0,7	Диффузный хлороз (< 0,25 мм)	R
4	1,4–3,0/0,7–1,0	Хлоротичное окаймление (0,50–0,70 мм)	MR
5	3,0–3,9/1,0–1,3	Хлоротичное окаймление (0,70–0,75 мм)	MS
6–9	4,0–8,0/1,4–3,2	Хлоротичное окаймление (0,50–1,0 мм)	S

Примечание: R – устойчивость; MR – средняя устойчивость; MS – слабая восприимчивость (промежуточный тип реакции); S – восприимчивость

Note: R – resistance; MR – moderate resistance; MS – moderate susceptibility (intermediate type of response); S – susceptibility

Оценка устойчивости взрослых растений к B. sorokiniana на искусственном инфекционном фоне

Изучение устойчивости взрослых растений 100 генотипов ячменя проводили на экспериментальных полях ВИЗР и научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург, Пушкин) в период с 2016 по 2022 г. По 20 семян каждого образца высевали в один ряд на делянках шириной 1 м. Расстояние между рядами составляло 20 см. Восприимчивые сорта ‘Harrington’, ‘Cherio’ и ‘Pirkka’ высевали через каждые 10 образцов в качестве контроля, а также для поддержания инфекционного фона. Эксперимент проводили в трехкратной повторности. Заражение в поле проводили изолятом *B. sorokiniana* из Ленинградской области Ch3, относящимся к наиболее распространенному в России патотипу 1. Растения на стадии BBCH 30 (BBCH scale…, 2015), которая соответствует межфазному периоду «кущение – выход в трубку», инокулировали путем опрыскивания с помощью пневматического опрыскива-

Результаты и обсуждение

Ювенильная устойчивость сортов и образцов ячменя

Гетерогенность популяций патогена по признаку вирулентности являлась основанием использования нескольких изолятов гриба для оценки устойчивости сортов и образцов ячменя (см. табл. 4).

Выявлены генотипы ячменя, отличающиеся расоспецифической устойчивостью к возбудителю темно-бурой пятнистости (табл. 6).

О различиях по вирулентности изолятов *B. sorokiniana* к набору из 100 генотипов ячменя свидетельствовали коэффициенты корреляции, представленные в таблице 7. При составлении матрицы для корреляционного анализа баллы устойчивости 1–4 были обозначены 0, балл 5 – 1, баллы восприимчивости 6–9 – 2.

Самые высокие значения, свидетельствующие о сходстве реакций генотипов ячменя на инокуляцию изолятами патогена и, следовательно, о сходстве вирулентности,

Таблица 6. **Результаты оценки проростковой и взрослой устойчивости сортов и образцов ячменя к возбудителю темно-бурой пятнистости (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker)**

Table 6. **Results of assessing seedling and adult resistance in barley cultivars and accessions to the spot blotch causative agent (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker)**

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	*Рядность / Rows*	Среднее значение типа реакции проростков на заражение изолятами *B. sorokiniana*, балл / Mean value of the type of seedling response to infection with *B. sorokiniana* isolates, score					Взрослая устойчивость / Adult resistance		
		патотип 0 (1 изолят) / pathotype 0 (1 isolate)	патотип 1 (5 изолятов) / pathotype 1 (5 isolates)	патотип 3 (2 изолята) / pathotype 3 (2 isolates)	патотип 7 (3 изолята) / pathotype 7 (3 isolates)	Характеристика устойчивости проростков / Characterization of seedling resistance	Тип реакции на заражение изолятом Ch3 (патотип 1), балл / Type of response to isolate Ch3 (pathotype 1), score	Развитие болезни, % / Disease severity development, %	Характеристика устойчивости / Characterization of resistance
Контроли:									
Harrington	**2**	7,0	8,0	7,5	8,0	**S|S|S|S**	9,0	60	**S**
Cherio	**2**	9,0	8,4	8,0	6,7	**S|S|S|S**	8,0	80	**S**
Pirkka	**6**	6,0	7,0	6,5	7,0	**S|S|S|S**	7,1	60	**S**
Местные образцы									
838	**2**	4,0	6,0	5,0	6,0	**R|S|MS|S**	7,2	40	**S**
2710	**6**	5,0	7,0	4,5	5,0	**MS|S|MR|MS**	6,2	25	**MS**
3108	**6**	6,0	6,2	4,5	7,3	**S|S|MR|S**	2,0	25	**MR**
3114	**6**	8,0	6,0	4,5	5,3	**S|S|MR|S**	2,0	20	**MR**
4059	**6**	4,0	5,8	5,0	5,7	**R|S|MS|S**	6,2	40	**S**
4071	**6**	4,0	4,6	4,0	5,7	**R|MR|R|S**	4,7	40	**S**
4306	**6**	6,0	7,0	6,5	7,0	**S|S|S|S**	3,8	45	**S**
4355	**6**	4,0	3,8	4,5	4,0	**R|R|MR|R**	2,3	30	**MR**
5059	**2**	5,1	6,6	5,0	5,7	**MS|S|MS|S**	5,1	20	**MR**
5470	**6**	3,0	4,6	4,5	3,7	**R|MR|MR|R**	3,1	15	**MR**
5900	**6**	5,1	6,4	5,0	6,3	**MS|S|MS|S**	5,4	20	**MR**
6816	**6**	5,1	6,0	5,5	7,0	**MS|S|S|S**	4,2	20	**MR**
6827	**2**	5,3	6,4	6,0	6,0	**S|S|S|S**	4,8	25	**MS**
6850	**2**	5,0	5,6	5,5	6,3	**MS|S|S|S**	4,0	15	**MR**
6879	**2**	6,0	6,8	5,5	7,7	**S|S|S|S**	4,2	20	**MR**
6880	**2**	5,0	7,4	6,5	6,3	**MS|S|S|S**	4,3	20	**MR**
6894	**2**	5,0	5,8	6,0	7,3	**MS|S|S|S**	4,8	30	**MS**
6913	**6**	5,0	6,6	5,5	7,7	**MS|S|S|S**	5,2	20	**MR**
7694	**6**	4,0	5,8	5,0	7,0	**MR|S|MS|S**	6,1	20	**MR***
7713	**6**	5,0	6,2	4,5	5,7	**MS|S|MR|S**	5,1	20	**MR**
7751	**2**	5,0	6,6	6,0	7,7	**MS|S|S|S**	5,0	20	**MR**
7765b	**6**	6,0	5,8	5,5	7,0	**S|S|S|S**	6,0	20	**MR***

Таблица 6. Продолжение
Table 6. Continued

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	*Рядность / Rows*	Среднее значение типа реакции проростков на заражение изолятами *B. sorokiniana*, балл / Mean value of the type of seedling response to infection with *B. sorokiniana* isolates, score					Взрослая устойчивость / Adult resistance		
		патотип 0 (1 изолят) / pathotype 0 (1 isolate)	патотип 1 (5 изолятов) / pathotype 1 (5 isolates)	патотип 3 (2 изолята) / pathotype 3 (2 isolates)	патотип 7 (3 изолята) / pathotype 7 (3 isolates)	Характеристика устойчивости проростков / Characterization of seedling resistance	Тип реакции на заражение изолятом Ch3 (патотип 1), балл / Type of response to isolate Ch3 (pathotype 1), score	Развитие болезни, % / Disease severity development, %	Характеристика устойчивости / Characterization of resistance
8332	**6**	6,1	6,2	5,0	5,3	**S|S|MS|S**	5,0	10	**R***
8654	**6**	5,0	5,6	5,5	4,7	**MS|S|S|MR**	5,1	20	**MR**
8721b	**6**	4,0	5,1	4,0	4,3	**MR|MR|MR|MR**	7,0	20	**MR***
8723	**6**	6,1	5,8	5,0	6,3	**S|S|MS|S**	5,1	25	**MS**
8726	**6**	5,0	5,8	4,5	4,3	**MS|S|MR|MR**	4,1	20	**MR**
8787	**6**	5,0	5,2	5,5	7,0	**MS|S|S|S**	5,2	25	**MS**
8812	**6**	5,0	5,6	5,0	6,0	**MS|S|MS|S**	4,1	15	**MR**
8852	**6**	5,0	6,6	5,0	7,0	**MS|S|MS|S**	3,2	20	**MR**
8960b	**6**	3,0	3,6	4,5	5,0	**R|R|MR|MR**	4,2	15	**MR**
9004	**2**	5,0	5,8	4,5	7,0	**MS|S|MR|S**	6,0	25	**MS**
10095	**6**	5,0	6,4	5,0	5,3	**MS|S|MS|S**	7,1	20	**MR***
11162	**6**	5,1	6,0	6,0	6,0	**MS|S|S|S**	6,0	20	**MR***
11189	**6**	5,1	7,2	4,5	5,0	**MS|S|MR|MS**	7,0	20	**MR***
11777	**2**	3,0	6,2	5,0	6,7	**R|S|MS|S**	6,1	15	**MR***
11993	**6**	7,0	7,0	3,5	7,0	**S|S|R|S**	7,0	15	**MR***
14936	**6**	9,0	5,6	6,5	6,7	**S|S|S|S**	7,0	10	**R***
15185	**6**	8,0	6,0	4,5	6,7	**S|S|MR|MS**	4,0	10	**R**
15402b	**6**	6,0	6,0	4,5	5,0	**S|S|MR|MS**	6,0	10	**R***
15811	**6**	4,0	4,6	4,5	5,0	**R|MR|MR|MR**	3,1	15	**MR**
15812	**6**	7,2	4,2	4,0	5,7	**S|MR|MR|S**	4,0	15	**MR**
15872	**6**	7,0	5,2	5,0	5,3	**S|S|MS|S**	7,0	20	**MR***
18636	**2**	4,0	6,0	4,0	4,7	**MR|S|MR|MR**	6,0	20	**MR***
19979	**2**	5,0	5,8	5,0	5,0	**MS|S|MS|MS**	6,1	10	**R***
20169	**2**	5,1	5,6	5,5	6,3	**MS|S|S|S**	7,1	15	**MR***
21472	**6**	6,3	5,6	6,0	6,3	**S|S|S|S**	7,0	20	**MR***
21490	**6**	4,0	5,2	5,0	6,3	**MR|S|MS|S**	7,0	20	**MR***

Таблица 6. Продолжение
Table 6. Continued

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Рядность / Rows	Среднее значение типа реакции проростков на заражение изолятами *B. sorokiniana*, балл / Mean value of the type of seedling response to infection with *B. sorokiniana* isolates, score					Взрослая устойчивость / Adult resistance		
		патотип 0 (1 изолят) / pathotype 0 (1 isolate)	патотип 1 (5 изолятов) / pathotype 1 (5 isolates)	патотип 3 (2 изолята) / pathotype 3 (2 isolates)	патотип 7 (3 изолята) / pathotype 7 (3 isolates)	Характеристика устойчивости проростков / Characterization of seedling resistance	Тип реакции на заражение изолятом Ch3 (патотип 1), балл / Type of response to isolate Ch3 (pathotype 1), score	Развитие болезни, % / Disease severity development, %	Характеристика устойчивости / Characterization of resistance
Местные образцы									
21578	**6**	2,0	5,2	4,5	6,3	**R|S|MR|S**	7,1	15	**MR***
21763	**2**	6,1	6,0	5,5	7,3	**S|S|S|S**	6,3	20	**MR***
21772	**2**	6,0	6,0	6,0	6,7	**S|S|S|S**	6,1	15	**MR***
23874	**6**	4,0	6,0	5,5	6,3	**MR|S|S|S**	6,4	35	**MS**
25273	**2**	6,2	5,2	5,5	5,0	**S|S|S|MS**	6,2	25	**MS**
25274	**2**	4,0	5,6	6,0	5,3	**MR|S|S|S**	6,1	20	**MR***
25283	**6**	3,0	5,6	5,5	6,3	**R|S|S|S**	6,0	10	**R***
28232	**6**	6,2	5,2	5,5	5,0	**S|S|S|MS**	6,0	10	**R***
29720	**2**	5,0	6,8	5,5	5,7	**MS|S|S|S**	6,3	25	**MS**
30008	**6**	3,0	6,8	6,0	6,3	**R|S|S|S**	7,0	20	**MR***
30337	**6**	5,0	6,4	6,5	8,0	**MS|S|S|S**	5,0	20	**MR**
30351	**6**	4,0	4,0	5,5	4,3	**MR|MR|S|MR**	4.0	15	**MR**
Сорт/линия									
NDB 112	**6**	2,0	2,4	4,0	5,1	**R|R|MR|MR**	4.0	10	**R**
3267	**6**	6,0	6,6	6,0	7,3	**S|S|S|S**	4.3	25	**MS**
5208	**2**	6,4	7,0	6,5	7,7	**S|S|S|S**	3.4	35	**MS**
5502	**6**	5,0	4,6	6,0	4,7	**MS|MR|S|MR**	2.0	25	**MR**
11025	**6**	5,1	6,8	4,5	5,3	**MS|S|MR|S**	6.1	20	**MR***
11139	**6**	4,0	6,6	5,5	6,3	**MR|S|S|S**	7.0	20	**MR***
15355	**6**	4,0	6,8	5,5	6,3	**MR|S|S|S**	7.0	15	**MR***
17262	**2**	2,0	2,6	2,5	3,0	**R|R|R|R**	6.1	5	**R***
18269	**6**	4,0	5,4	5,5	5,7	**MR|S|S|S**	7.0	20	**MR***
18505	**6**	4,0	5,6	4,5	5,3	**MR|S|MR|S**	7.0	20	**MR***
18523b	**6**	5,0	4,8	3,5	4,0	**MS|MR|R|MR**	6.3	30	**MS**
18716	**6**	3,0	4,8	4,0	5,0	**R|MR|MR|MR**	7.0	10	**R***
18755	**6**	4,0	4,6	4,5	5,7	**MR|MR|MR|S**	7.2	25	**MS**
18760a	**6**	5,2	7,0	5,0	5,3	**S|S|MS|MS**	7.0	15	**MR***
18760b	**2**	8,1	5,4	7,0	7,7	**S|S|S|S**	7.1	15	**MR***

Таблица 6. Окончание
Table 6. The end

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	*Рядность / Rows*	Среднее значение типа реакции проростков на заражение изолятами *B. sorokiniana*, балл / Mean value of the type of seedling response to infection with *B. sorokiniana* isolates, score					Взрослая устойчивость / Adult resistance		
		патотип 0 (1 изолят) / pathotype 0 (1 isolate)	патотип 1 (5 изолятов) / pathotype 1 (5 isolates)	патотип 3 (2 изолята) / pathotype 3 (2 isolates)	патотип 7 (3 изолята) / pathotype 7 (3 isolates)	Характеристика устойчивости проростков / Characterization of seedling resistance	Тип реакции на заражение изолятом Ch3 (патотип 1), балл / Type of response to isolate Ch3 (pathotype 1), score	Развитие болезни, % / Disease severity development, %	Характеристика устойчивости / Characterization of resistance
Сорт/линия									
19275	**6**	6,0	6,0	4,5	5,0	**S|S|MR|MS**	6.2	20	**MR***
19304	**6**	5,1	5,4	5,0	5,3	**MS|S|MS|S**	6.1	20	**MR***
19643	**6**	5,0	6,0	5,5	6,3	**MS|S|S|S**	7.0	15	**MR***
19646	**6**	5,0	4,8	5,0	6,3	**MS|MR|MS|S**	7.1	30	**MS**
20277a	**6**	4,0	5,4	5,0	5,0	**MR|S|MS|MS**	7.0	15	**MR***
20277b	**6**	5,2	5,8	4,0	4,3	**S|S|MR|MR**	7.1	15	**MR***
20497	**6**	5,0	6,2	6,0	6,0	**MS|S|S|S**	8.2	20	**MR***
22022	**2**	5,0	7,0	6,0	8,0	**MS|S|S|S**	8.1	20	**MR***
25078	**6**	6,2	5,6	5,5	6,0	**S|S|S|S**	6.0	10	**R***
26959	**6**	3,2	3,0	4,5	5,1	**R|R|MR|MR**	5.1	20	**MR**
28664	**6**	5,1	6,0	5,0	5,7	**MS|S|MS|S**	4.0	15	**MR**
29192	**6**	4,0	5,0	5,0	6,7	**MR|MS|MS|S**	6.0	10	**R***
29576	**2**	3,2	3,4	5,5	7,0	**R|R|S|S**	5.2	15	**MR**
29577	**2**	5,0	6,0	5,5	6,3	**MS|S|S|S**	6.0	20	**MR***
29592	**2**	6,4	6,8	5,0	7,0	**S|S|MS|S**	6.3	25	**MS**
29709	**2**	3,0	6,4	6,0	5,7	**R|S|S|S**	7.1	40	**S**
29737	**6**	4,0	5,6	5,5	5,7	**MR|S|S|S**	7.3	25	**MS**
30029	**6**	3,0	6,4	5,5	4,7	**R|S|S|MR**	6.0	20	**MR***
30035	**6**	4,1	3,6	4,0	4,7	**MR|R|MR|MR**	4.2	15	**MR**
30408	**6**	5,1	4,4	3,0	4,7	**MS|MR|R|MR**	7.0	15	**MR***
30453	**2**	3,0	6,0	5,5	5,3	**R|S|S|S**	6.1	20	**MR***
30479	**2**	4,0	6,0	6,0	7,0	**R|S|S|S**	6.0	20	**MR***
30617	**2**	5,3	5,0	5,0	6,0	**S|MS|MS|S**	6.0	25	**MS**
30741	**2**	5,0	5,6	5,5	8,0	**MS|S|S|S**	7.3	25	**MS**

Примечание: R – устойчивый; MR – среднеустойчивый; MS – средневосприимчивый; S – восприимчивый; R* и MR* – отнесены к классу устойчивых и среднеустойчивых по развитию болезни в %, несмотря на тип реакции взрослых растений 6–8 баллов

Note: R – resistance; MR – moderate resistance; MS – moderate susceptibility; S – susceptibility; R* and MR* – categorized as resistance or moderate resistance in the context of disease severity development (%), despite the type of response in adult plants ranging from 6 to 8

Таблица 7. **Значения корреляции вирулентности изолятов *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker к набору из 100 генотипов ячменя**

Table 7. **Virulence correlation values for *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker isolates on a set of 100 barley genotypes**

	Изоляты *B. sorokiniana* / *B. sorokiniana* isolates									
	VCH31	**Ch3**	**Br13**	**Br18**	**Cz29**	**Can1**	**L1**	**O18.2**	**O19.3**	**ЭСИ 215 2.8**
Ch3	–0,02									
Br13	0,01	0,24								
Br18	**0,09**	0,19	0,16							
Cz29	0,13	0,09	0,19	0,18						
Can1	0,07	–0,21	–0,07	0,03	0,22					
L1	0,58	0,14	0,09	0,09	0,24	0,20				
O18.2	0,33	0,24	0,31	0,28	0,11	–0,12	0,21			
O19.3	0,41	0,14	0,36	0,19	0,13	–0,06	0,22	0,86		
ЭСИ 215 2.8	0,29	0,06	0,35	0,23	0,16	–0,09	–0,003	0,68	0,67	
КСИ 33 1.1	0,10	0,10	0,17	0,14	0,32	0,32	0,13	0,22	0,16	0,29

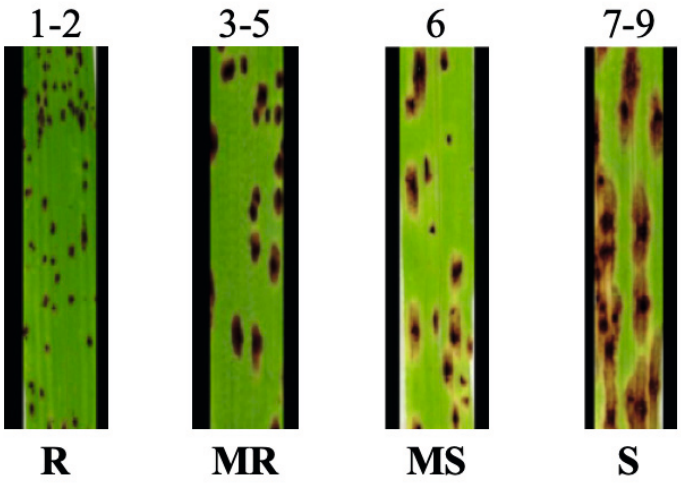


Рис. 1. **Тип реакции флагового листа растений ячменя на инокуляцию грибом *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (ориг.):**
R – устойчивый; **MR** – среднеустойчивый; **MS** – средневосприимчивый; **S** – восприимчивый

Fig. 1. **Types of response to *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (orig.) on the flag leaf of barley plants:**
R – resistance; **MR** – moderate resistance; **MS** – moderate susceptibility; **S** – susceptibility

получены для двух изолятов из Омской области O18.2 и O19.3 – 0,86. При попарном сравнении вирулентности изолята из Канады Can1 с другими изолятами отмечены отрицательные значения коэффициентов корреляции, что свидетельствует о значительных различиях реакции генотипов ячменя к патотипам 0, 1 и 3, по сравнению с патотипом 7.

Большинство изучаемых образцов (25–45%) имели промежуточный тип реакции (балл 5) на заражение всеми изолятами (рис. 2).

К патотипу 7 (изоляты Cz29, Can1 и O18.2) высокоустойчивые сорта и образцы ячменя (балл 1) не выявлены (см. рис. 2).

Наиболее высокой агрессивностью отличался изолят из Беларуси Br18 (патотип 1), к которому отмечено наибольшее число восприимчивых образцов (баллы 8–9) и наименьшее – с промежуточным типом реакции (балл 5) (см. рис. 2). Другой изолят из Беларуси Br13 (патотип 3), наоборот, отличался тем, что реакция наибольшего числа генотипов ячменя соответствовала промежуточной устойчивости (см. рис. 2).

Изоляты *B. sorokiniana*, отнесенные к одному и тому же патотипу, проявили различный спектр вирулентности к изучаемому набору генотипов ячменя (см. табл. 4, 7; см. рис. 2, 3), что свидетельствует о наличии большего числа патотипов у гриба, чем описано в работе M. Valjavec-Gratian и B. J. Steffenson (1997a).

Выявлено 37 генотипов ячменя, устойчивых к изоляту L1, относящемуся к патотипу 0; 6 – ко всем изолятам патотипа 1 (к-30035, к-17262, к-8960b, к-29576, к-26959

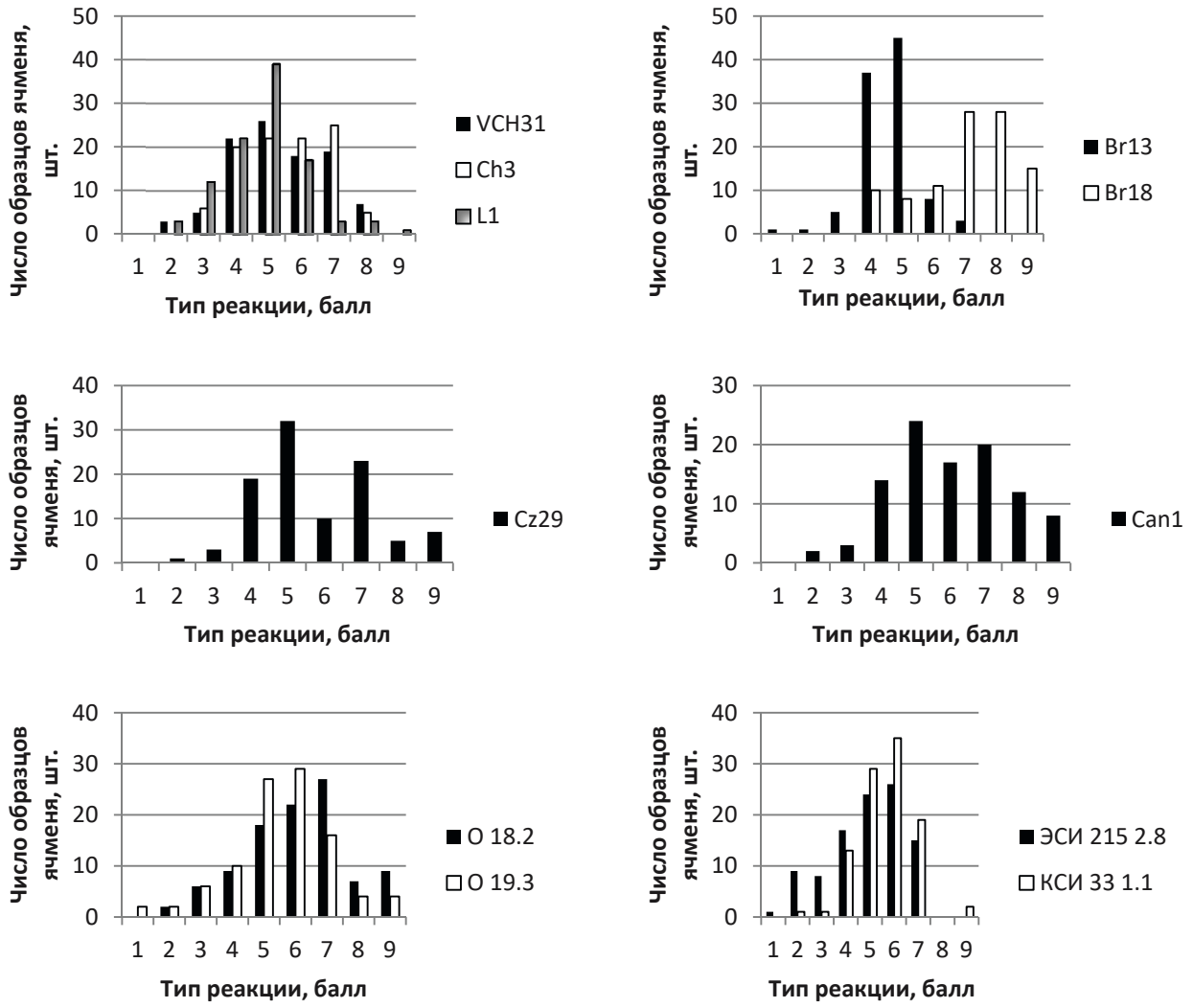


Рис. 2. **Распределение образцов ячменя по типам реакции на инокуляцию проростков изолятами *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker. Изоляты сгруппированы по происхождению (см. табл. 3)**

Fig. 2. **Frequency distribution of responses of barley seedlings to inoculations with *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker isolates grouped according to their origin (see Table 3)**

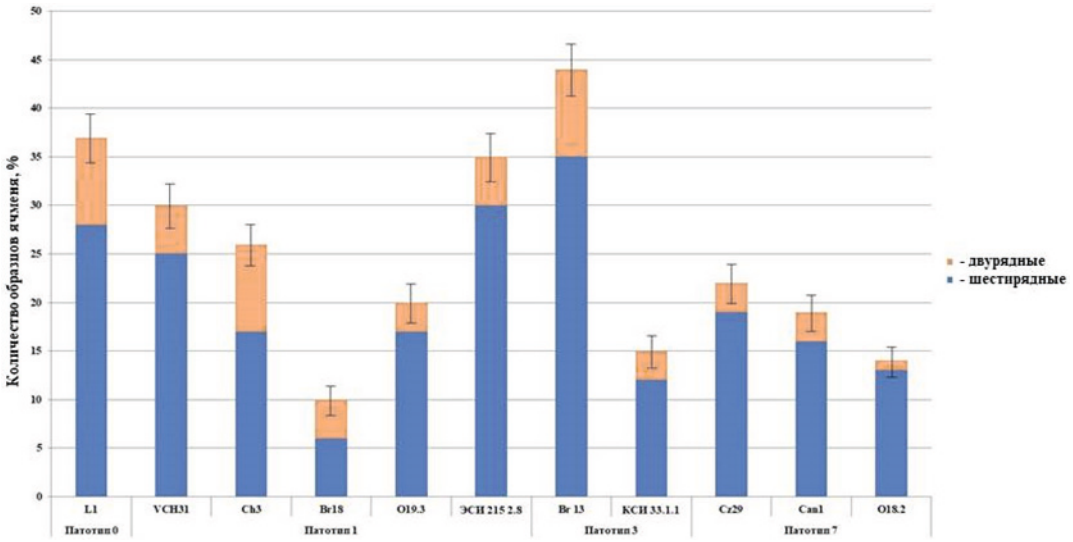


Рис. 3. **Количество устойчивых генотипов ячменя (баллы 1–4) к четырем патотипам *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker**

Fig. 3. **Percentage of barley genotypes resistant (scores 1–4) to four pathotypes of *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker**

и NDB 112); 9 – к патотипу 3 (к-4071, к-8721b, к-11993, к-18636, к-17262, к-18523b, к-20277b, к-30408 и NDB 112); 2 – к патотипу 7 (к-4355, к-5470) (см. табл. 6). Среднее количество устойчивых генотипов ячменя к пяти изолятам *B. sorokiniana* патотипа 1 составило 24,2%, к двум изолятам патотипа 3 – 29,5% и к трем изолятам патотипа 7 – 18,3% (см. рис. 3).

Оценка ювенильной устойчивости большого числа образцов ячменя (1480) из коллекции United States Department of Agriculture (USDA) к одному изоляту *B. sorokiniana* ND85F, отнесенному к патотипу 1, позволила выявить 24,5% устойчивых генотипов (Wang et al., 2017), что согласуется с нашими данными (24,2%). Однако к этому же изоляту в коллекции из 3072 образцов ячменя, используемых в селекционных программах, примерно половина были отнесены к устойчивым и среднеустойчивым, что, по-видимому, связано с предпочтительным использованием в селекции устойчивых к темно-бурой пятнистости генотипов ячменя (Zhou, Steffenson, 2013).

Среди 2062 образцов из коллекции USDA-NSGC было выявлено 40 генотипов ячменя (1,9%) с ювенильной устойчивостью к патотипу 7 *B. sorokiniana*, 24 из которых отличались также устойчивостью взрослых растений (Leng et al., 2016). Наши данные свидетельствуют, что к патотипу 7 выявлено наименьшее число устойчивых образцов (18,3%) по сравнению с патотипами 0, 1 и 3, но значительно больше, чем в цитируемом исследовании. Это может быть связано с тем, что включенные в экспериментальную выборку сорта и образцы ячменя отличались различным уровнем устойчивости в проведенных ранее исследованиях.

Проростковая устойчивость к большинству изолятов была отмечена у 10 образцов: к-4355, к-30035, к-17262 (патотипы 0, 1, 3, 7), к-8960b, к-15811, к-26959 (патотипы 0, 1, 3), к-30351, к-18523b (патотипы 1, 3, 7), к-29576 (патотипы 0, 1) и к-15812 (патотипы 1, 3). Устойчивые ко всем изолятам образцы не выявлены.

Патотип 7 (изолят Can1) отличался вирулентностью к линии NDB 112, защищенной геном *Rcs5*. В связи с этим сорта и образцы ячменя, проявившие устойчивость в фазе проростков к этому изоляту патогена, по-видимому, являются носителями других генов, контролирующих проростковую устойчивость к *B. sorokiniana*. К их числу относятся 18 образцов ячменя (см. табл. 6).

К патотипу 1 (изоляты Ch3 и O19.3) количество устойчивых сортов значительно превышает количество устойчивых образцов из центров генетического разнообразия (рис. 4). Это может быть связано с тем, что в селекции длительное время использовали доноры гена *Rcs5*, детерминирующего длительную устойчивость к темно-бурой пятнистости, который был эффективен к повсеместно наиболее распространенному патотипу 1.

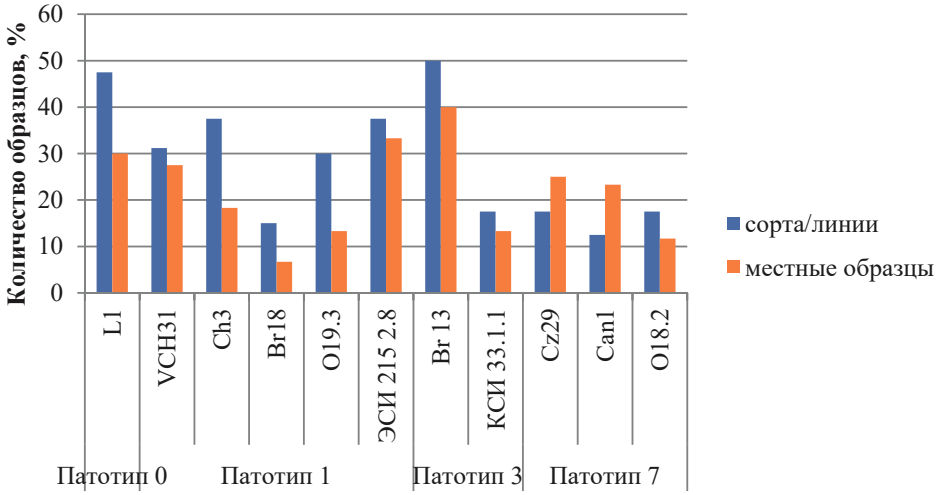


Рис. 4. Количество устойчивых сортов и аборигенных (местных) образцов ячменя к различным изолятам *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker

Fig. 4. Percentage of barley cultivars and landraces resistant to different isolates of *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker

Примерно одинаковое количество образцов и сортов были устойчивы к патотипу 3. К патотипу 7 количество устойчивых образцов из центров генетического разнообразия было выше, чем количество сортов, особенно к изоляту из Канады (Can1). Это также можно объяснить тем, что сорта, защищенные геном *Rcs5*, оказались в группе восприимчивых при инокуляции изолятами патотипа 7 (см. рис. 4).

Оценка взрослой устойчивости

По результатам оценки в поле сорта и образцы ячменя разделили на четыре класса: R – высокоустойчивый (1–10% развитие болезни); MR – умеренно устойчивый (11–20%); MS – умеренно восприимчивый (21–39%) и S – восприимчивый (40–80%). Данные приведены в таблице 6.

Следует отметить, что тип реакции на флаговом листе, оцененный баллом 6 и выше, не всегда соответствовал сильному развитию болезни в процентах. У 56 генотипов тип реакции флагового и второго сверху листа на заражение *B. sorokiniana* в поле был оценен от 5 до 7 баллов, однако развитие темно-бурой пятнистости не превышало 20%, поэтому их охарактеризовали как устойчивые и умеренно устойчивые (см. табл. 6). Два образца ячменя (к-3108, к-4355) и сорт из Индии 'Naushera' (к-5502) показали тип реакции «балл 2» на заражение изолятом Ch3 (патотип 1), а развитие болезни составило 25–30%,

и их также отнесли к классу умеренно устойчивых (см. табл. 6).

Известно, что двурядный ячмень в целом является восприимчивым к *B. sorokiniana* (Ameen et al., 2020). В наших исследованиях только один двурядный генотип, сорт 'Spratt' (к-17262), показал высокий уровень устойчивости к *B. sorokiniana* как в фазе проростков, так и взрослых растений. Среди шестирядных ячменей выделились по устойчивости пять образцов: из Китая (к-15811), Турции (к-8960b), Эфиопии (к-8721b), Канады (к-4355) и Кипра (к-5470), а также сорта 'Fort' (к-18505), 'Ogalitsu' (к-18716), 'Morex' (к-26959), 'Excel' (к-30035) и селекционная линия NDB 112.

По результатам проведенных полевых и лабораторных испытаний 4 образца из Турции (к-6816, к-6879, к-6880, к-7751) показали высокую устойчивость взрослых растений (до 4-х баллов), но ко всем изученным изолятам на стадии проростков были восприимчивы. У сорта из Великобритании 'Spratt' ювенильная устойчивость с типом реакции до пяти баллов отмечена ко всем изолятам *B. sorokiniana*, а на взрослых растениях в поле тип реакции составил 6 и выше, тогда как развитие болезни не превышало 5%.

Причиной массового развития болезней, вызываемых гемибиотрофными патогенами, являются не только возможные нарушения технологии выращивания культуры (несоблюдение севооборота, поверхностная обработка почвы и др.), но и доминирование в структуре посевных площадей восприимчивых сортов. Среди сортов ячменя, зарегистрированных в Государственном реестре селекционных достижений, устойчивые к возбудителю темно-бурой пятнистости отсутствуют (Lashina, Afanasenko, 2019). В Соединенных Штатах устойчивость, полученная от шестирядной линии ячменя NDB 112, обеспечивала эффективный контроль темно-бурой пятнистости с конца 1950-х годов. Эта устойчивость была эффективна против патотипов 0, 1 и 2, и линия NDB 112 использовалась в программах селекции шестирядного пивоваренного ячменя (Valjavec-Gratian, Steffenson, 1997a). С использованием этого донора были созданы сорта 'Morex', 'Dickson' и др. (Ameen et al., 2020). B. J. Steffenson с соавторами (Steffenson et al., 1996) в дигаплоидной популяции от скрещивания 'Steptoe' × 'Morex', с использованием изолята ND85F (патотип 1) идентифицировали главный ген на хромосоме 7H, эффективный на стадии проростков и взрослых растений, который был обозначен как *Rcs5*. На сегодняшний день длительная устойчивость, детерминированная геном *Rcs5*, была преодолена с появлением нового патотипа 7, идентифицированного Y. Leng с соавторами (Leng et al., 2016).

В наших исследованиях патотип 7 (изолят Can1) отличался вирулентностью к линии NDB 112, защищенной геном *Rcs5*. В связи с этим сорта и образцы ячменя, проявившие устойчивость в фазе проростков к этому изоляту патогена, по-видимому, являются носителями других генов, контролирующих проростковую устойчивость к *B. sorokiniana*. К их числу относятся 4 сорта: 'Tifang' (к-18760a), 'Musashinomugi' (20277a, 20277b), 'Excel' и 'Virden' (к-30408), а также 7 образцов ячменя (к-4355, к-5470, к-8654, к-8721b, к-8726, к-18636, к-30351).

К настоящему времени путем картирования в дигаплоидных дву-родительских популяциях (Afanasenko et al., 2015) и ассоциативного картирования (GWAS) (Bykova et al., 2017; Gyawali et al., 2018; Novakazi et al., 2020) «главные» гены и локусы количественной устойчивости (QTL) к *B. sorokiniana* были локализованы на всех хромосомах ячменя. Идентифицированы 4 «главных» гена устойчивости к *B. sorokiniana*: *Rcs 6/Scs 6* (хромосома 1H), *Rbs7* (6H), *QRcs-6HP7* (6H) и *Rcs 5* (7H) (Drader et al., 2009; Wang et al., 2017; Leng et al., 2018; Wang et al., 2019).

Использование патотипа 1 и патотипа 7 *B. sorokiniana* при ассоциативном картировании позволило определить разные локусы, контролирующие устойчивость ячменя: на хромосоме 1H к патотипу 1 в интервале 42,01–43,62 cM, а к патотипу 7 – в позиции 142,74 cM; на хромосоме 3H – к патотипу 1 в позиции 25,27 cM, к патотипу 7 – 66,15 cM; на хромосоме 6H выявлен локус в интервале 16,16–16,26 cM, контролирующий устойчивость только к патотипу 7 (Wang et al., 2017). Таким образом, показана различная детерминация устойчивости к этим двум патотипам *B. sorokiniana*.

Заключение

В результате наших исследований выявлено тридцать семь генотипов ячменя, устойчивых к изоляту L1, относящемуся к патотипу 0; шесть генотипов показали ювенильную и взрослую устойчивость ко всем изолятам патотипа 1: к-8960b, 'Excel' (к-30035), 'Spratt' (к-17262), 'Bowman' (к-29576), 'Morex' (к-26959) и NDB 112; ювенильную устойчивость показали девять генотипов к изолятам патотипа 3: к-4071, к-8721b, к-15812, к-18636, 'Spratt', 'Ogalitsu' (к-18716), 'Musashinomugi' (20277a, 20277b), 'Excel' и 'Virden' (к-30408) и два генотипа – к трем изолятам патотипа 7: к-4355 и к-5470.

Выявленные источники устойчивости к трем патотипам *B. sorokiniana* могут послужить основой создания коллекции доноров устойчивости к патогену и их широкому экологическому испытанию, особенно в эпидемиологически опасных зонах. Особенный интерес для селекции представляют сорта и образцы ячменя, устойчивые к патотипу 7, который преодолел ген длительной устойчивости *Rcs5*, хотя до настоящего времени нет сообщений о потере устойчивости сортов ячменя, защищенных этим геном на европейском континенте.

References / Литература

Afanasenko O.S., Koziakov A.V., Hedlay P.E., Lashina N.M., Anisimova A.V., Manninen O. et al. Mapping of the loci controlling the resistance to *Pyrenophora teres* f. *teres* and *Cochliobolus sativus* in two double haploid barley populations. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2015;5(3):242-253. DOI: 10.1134/s2079059715030028

Ameen G., Solanki S., Drader T., Sager-Bittara L., Steffenson B., Kleinhofs A. et al. *rcs5*-mediated spot blotch resistance in barley is conferred by wall-associated kinases that resist pathogen manipulation *bioRxiv*. [preprint] 2020. DOI: 10.1101/2020.04.13.040238

Banu S.P., Shaeed M.A., Kazi B.A. Occurrence and significance of spot blotch in Bangladesh. In: E. Duveiller, H.J. Dubin, J. Reeves, A. McNab (eds): *Helminthosporium Blights of Wheat: Spot Blotch and Tan Spot*. Mexico: CIMMYT; 1998. p.63-66.

Bashyal B.M., Chand R., Kushwaha C., Joshi A.K., Kumar S. *Bipolaris sorokiniana* of barley: infection behaviour in different members of Poaceae. *Indian Phytopathology*. 2011;64(1):28-31.

BBCH scale of cereal growth. Phenological phases of growth and BBCH scales denoting phenophases for cereals (wheat – *Triticum* sp. L., barley – *Hordeum vulgare* L., oats –

Avena sativa L., rye – *Secale cereale* L.). Original translation by Agro Internet Expert; 2015. [in Russian] (BBCH шкала развития злаковых. Фенологические фазы роста и обозначающие фенофазы коды BBCH шкалы для зерновых (пшеница – *Triticum* sp. L., ячмень – *Hordeum vulgare* L., овес – *Avena sativa* L., рожь – *Secale cereale* L.). Оригинальный перевод Agro Internet Expert; 2015). URL: https://fermer.ru/files/v2/forum/182746/vvsnshkalarazvitiyazernovyh.pdf [дата обращения: 07.06.2024].

Bykova I.V., Lashina N.M., Efimov V.M., Afanasenko O.S., Khlestkina E.K. Identification of 50 K Illumina-chip SNPs associated with resistance to spot blotch in barley. *BMC Plant Biology*. 2017;17 Suppl 2:250. DOI: 10.1186/s12870-017-1198-9

Chand R., Joshi A.K. Foliar blight: solved and unsolved problems. In: A.K. Joshi, R. Chand, B. Arun, G. Singh (eds). *A Compendium of Lectures on Wheat Improvement in Eastern and Warmer Regions of India: Conventional and Non-Conventional Approaches*. Varanasi: Banaras Hindu University; 2004. p.58-69.

Drader T., Johnson K., Brueggeman R., Kudrna D., Kleinhofs A. Genetic and physical mapping of a high recombination region on chromosome 7H (1) in barley. *Theoretical and Applied Genetics*. 2009;118(4):811-820. DOI: 10.1007/s00122-008-0941-x

FAO Statistical Yearbook. World Food and Agriculture 2021. Rome: FAO; 2021. Available from: https://doi.org/10.4060/cb4477en [accessed Jun. 07, 2024].

Fetch Jr. T.G., Steffenson B.J. Rating scales for assessing infection responses of barley infected with *Cochliobolus sativus*. *Plant Disease*. 1999;83(3):213-217. DOI: 10.1094/PDIS.1999.83.3.213

Ghazvini H., Tekauz A. Host–pathogen interactions among barley genotypes and *Bipolaris sorokiniana* isolates. *Plant Disease*. 2008;92(2):225-233. DOI: 10.1094/PDIS-92-2-0225

Ghazvini H., Tekauz A. Molecular diversity in the barley pathogen *Bipolaris sorokiniana* (*Cochliobolus sativus*). *Australasian Plant Pathology*. 2012;41(3):283-293. DOI:10.1007/s13313-012-0131-9

Giraldo P., Benavente E., Manzano-Agugliaro F., Gimenez E.J.A. Worldwide research trends on wheat and barley: A bibliometric comparative analysis. *Agronomy*. 2019;9(7):352. DOI: 10.3390/agronomy9070352

Gupta P.K., Chand R., Vasistha N.K., Pandey S.P., Kumar U., Mishra V.K. et al. Spot blotch disease of wheat: the current status of research on genetics and breeding. *Plant Pathology*. 2018;67(3):508-531. DOI: 10.1111/ppa.12781

Gyawali S., Chao S., Vaish S.S., Singh S.P., Rehman S., Vishwakarma S.R. et al. Genome wide association studies (GWAS) of spot blotch resistance at the seedling and the adult plant stages in a collection of spring barley. *Molecular Breeding*. 2018;38(5):62. DOI: 10.1007/s11032-018-0815-0

Lashina N.M. Development of double haploid barley lines as source material for breeding cultivars with complex resistance to diseases (Sozdaniye digaploidov yachmenya kak iskhodnogo materiala dlya selektsii sortov s gruppovoy ustoychivostyu k boleznyam) [dissertation]. St. Petersburg: VIZR; 2015. [in Russian] (Лашина Н.М. Создание дигаплоидов ячменя как исходного материала для селекции сортов с групповой устойчивостью к болезням: дис. … канд. биол. наук. Санкт-Петербург: ВИЗР; 2015).

Lashina N.M., Afanasenko O.S. Susceptibility to leaf blights of commercial barley cultivars in North-Western Region of Russia. *Plant Protection News*. 2019;2(100):23-28. [in Russian] (Лашина Н.М., Афанасенко О.С. Поражаемость пятнистостями сортов ячменя, включенных в государственный реестр селекционных достижений и находящихся на сортоиспытаниях в условиях Северо-Запада Российской Федерации. *Вестник защиты растений*. 2019;2(100):23-28). DOI: 10.31993/2308-6459-2019-2(100)-23-28

Leng Y., Wang R., Ali S., Zhao M., Zhong S. Sources and genetics of spot blotch resistance to a new pathotype of *Cochliobolus sativus* in the USDA National Small Grains Collection. *Plant Disease*. 2016;100(10):1988-1993. DOI: 10.1094/PDIS-02-16-0152-RE

Leng Y., Zhao M., Wang R., Steffenson B.J., Brueggeman R.S., Zhong S. The gene conferring susceptibility to spot blotch caused by *Cochliobolus sativus* is located at the Mla locus in barley cultivar Bowman. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018;131(7):1531-1539. DOI: 10.1007/s00122-018-3095-5

Limpert E., Clifeord B., Dreiseitl A., Johnson R., Müller K., Roelfs A. et al. Designation of pathotypes of plant pathogens. *Journal of. Phytopathology*. 1994;140(4):359-362. DOI: 10.1111/j.1439-0434.1994.tb00617.x

Meldrum S.I., Platz G.J., Ogle H.J. Pathotypes of *Cochliobolus sativus* on barley in Australia. *Australasian Plant Pathology*. 2004;33(1):109-114. DOI: 10.1071/AP03088

Novakazi F., Afanasenko O., Lashina N., Platz G.J., Snowdon R., Loskutov I. et al. Genome-wide association studies in a barley (*Hordeum vulgare*) diversity set reveal a limited number of loci for resistance to spot blotch (*Bipolaris sorokiniana*). *Plant Breeding*. 2020;139(3):521-535. DOI: 10.1111/pbr.12792

Steffenson B.J., Hayes P.M., Kleinhofs A. Genetics of seedling and adult plant resistance to net blotch (*Pyrenophora teres* f. *teres*) and spot blotch (*Cochliobolus sativus*) in barley. *Theoretical and Applied Genetics*. 1996;92(5):552-558. DOI: 10.1007/BF00224557

Valjavec-Gratian M., Steffenson B.J. Genetics of virulence in *Cochliobolus sativus* and resistance in barley. *Phytopathology*. 1997a;87(11):1140-1143. DOI: 10.1094/PHYTO.1997.87.11.1140

Valjavec-Gratian M., Steffenson B.J. Pathotypes of *Cochliobolus sativus* on barley in North Dakota. *Plant Disease*. 1997b;81(11):1275-1278. DOI: 10.1094/PDIS.1997.81.11.1275

Verma S.K., Chaurasia S.K., Pankaj Y.K., Kumar R. Study on the genetic variability and pathogenicity assessment among isolates of spot blotch causing fungi (*Bipolaris sorokiniana*) in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology Reports*. 2020;25(2):255-267. DOI: 10.1007/s40502-020-00510-y

Veselova A.V. Results for 2024. Sown areas under cereal and leguminous crops in Russia – general trends (Itogi za 2023 god. Posevnye ploshchadi zernovykh i zernobobovykh kultur v Rossii 0 obshchiye tendentsii). Expert Analytical Center of Agribusiness "AB-Center"; 2023. [in Russian] (Веселова А.В. Итоги за 2023 год. Посевные площади зерновых и зернобобовых культур в России – общие тенденции. Экспертно-аналитический центр агробизнеса «АБ-Центр»; 2023). URL: https://ab-centre.ru/news/itogi-za-2023-god-posevnye-ploschadi-zernovyh-i-zernobobovyh-kultur-v-rossii [дата обращения: 07.06.2024].

Volkova T.N., Selina I.V., Sozinova M.S. *Bipolaris sorokiniana* and *Epicoccum nigrum*. Changes in mycobiota of barley grain during 2001–2017. *Beer and Beverages*. 2018;(3):62-67. [in Russian] (Волкова Т.Н., Селина И.В., Созинова М.С. Биполярис и эпикокк. Изменения в микобиоте зерна ячменя за 2001–2017 гг. *Пиво и напитки*. 2018;(3):62-67).

Wang R., Leng Y., Ali S., Wang M., Zhong S. Genome-wide association mapping of spot blotch resistance to three different pathotypes of *Cochliobolus sativus* in the USDA barley core collection. *Molecular Breeding*. 2017;37(4):44. DOI: 10.1007/s11032-017-0626-8

Wang R., Leng Y., Zhao M., Zhong S. Fine mapping of a dominant gene conferring resistance to spot blotch caused by a new pathotype of *Bipolaris sorokiniana* in barley. *Theoretical and Applied Genetics*. 2019;132(1):41-51. DOI: 10.1007/s00122-018-3192-5

Wu L., He X., Lozano N., Zhang X., Singh P.K. ToxA, a significant virulence factor involved in wheat spot blotch disease, exists in the Mexican population of *Bipolaris sorokiniana*. *Tropical Plant Pathology*. 2020;46(2):201-206. DOI: 10.1007/s40858-020-00391-4

Zhou H., Steffenson B. Genome-wide association mapping reveals genetic architecture of durable spot blotch resistance in US barley breeding germplasm. *Molecular Breeding*. 2013;32(1):139-154. DOI: 10.1007/s11032-013-9858-4

Информация об авторах

Нина Михайловна Лашина, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, nlashina@mail.ru, https://orcid/0000-0003-1419-7134

Ольга Сильвестровна Афанасенко, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, olga.s.afan@gmail.com, https://orcid/0000-0001-7368-0797

Information about the authors

Nina M. Lashina, Cand. Sci. (Biology), Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, nlashina@mail.ru, https://orcid/0000-0003-1419-7134

Olga S. Afanasenko, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, olga.s.afan@gmail.com, https://orcid/0000-0001-7368-0797

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 18.06.2024; одобрена после рецензирования 18.07.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 18.06.2024; approved after reviewing on 18.07.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

ОБЗОРЫ

Обзорная статья
УДК 575.222.73
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-256-264

CC BY

Межвидовая гибридизация и клеточная инженерия салата (*Lactuca* L.)

Н. А. Загнухина, А. Б. Курина

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Наталья Андреевна Загнухина, nzagnuhina97@gmail.com

Lactuca sativa L. (салат) – овощная зеленная культура семейства Asteraceae, широко возделываемая во всем мире. Основными направлениями в селекции салата являются повышение урожайности, улучшение вкусовых качеств растения, скороспелость, устойчивость к абиотическим и биотическим стрессорам. Некоторые дикорастущие виды *Lactuca* L. широко используют в селекции салата в качестве доноров устойчивости к различным болезням. При создании новых сортов в настоящее время используют как традиционные, так и биотехнологические методы селекции. В данной статье представлен обзор основных достижений по получению межвидовых гибридов салата, включая методы культуры клеток и тканей и генной инженерии. Исследования искусственной гибридизации и изучение естественных популяций позволяют выяснить эволюционные связи между различными видами салата. Соматическая гибридизация – незаслуженно забытая, но перспективная технология в селекции салата – позволяет получать более широкий спектр изменений и не подвергается строгому контролю со стороны законов о ГМО. Этот метод имеет проблемы, связанные со сложностью регенерации протопластов и потерей способности к размножению у гибридов. Методы редактирования генома более эффективны и легче поддаются контролю, однако общество все еще настороженно относится к любым вмешательствам в геном растений и законодательно регулирует продажу ГМ-продуктов в качестве продуктов питания. Перед исследователями стоит задача усовершенствования данных методик.

Ключевые слова: *Lactuca* L., селекция, методы, межвидовые гибриды, клеточная и генная инженерия

Благодарности: статья подготовлена в рамках государственного задания ВИР согласно тематическому плану ВИР по проекту FGEM-2022-0012 «Клеточные технологии для расширения селекционного потенциала культур овощного направления использования».
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Загнухина Н.А., Курина А.Б. Межвидовая гибридизация и клеточная инженерия салата (*Lactuca* L.). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):256-264. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-256-264

© Загнухина Н.А., Курина А.Б., 2024

SURVEYS

Review article
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-256-264

Interspecific hybridization and cell engineering of lettuce (*Lactuca* L.)

Natalia A. Zagnukhina, Anastasia B. Kurina

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg Russia

Corresponding author: Natalia A. Zagnukhina, nzagnuhina97@gmail.com

Lactuca sativa L. is a leafy vegetable crop of the Asteraceae family, widely cultivated throughout the world. The main breeding trends for lettuce include higher yields, better taste quality, earliness, and resistance to abiotic and biotic stressors. Some wild *Lactuca* spp. have actively been employed by lettuce breeders as donors of resistance to various diseases. Conventional and biotechnological breeding methods are both currently used to develop new lettuce cultivars. This is an overview of the main advances in the production of interspecific *Lactuca* hybrids, including the use of cell and tissue culture techniques, and genetic engineering. Studying artificial hybridization and natural populations makes it possible to identify evolutionary relationships among various *Lactuca* spp. Somatic hybridization is an overlooked but promising technology in *Lactuca* breeding: it allows a breeder to obtain a wider range of variations, and is beyond the strict control by GMO laws. This technique faces problems associated with complicated protoplast regeneration and the loss of reproductive ability in hybrids. Genome-editing methods are more effective and better controllable, but society is still wary of any interference with the plant genome and legally regulates the sale of GM products as food. Thus, researchers are challenged with the task to improve these techniques.

Keywords: *Lactuca* L., breeding, methods, interspecific hybrids, cell and genetic engineering

Acknowledgements: the article was prepared within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0012 “Cell technologies to expand the breeding potential of crops for vegetable use”.
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Zagnukhina N.A., Kurina A.B. Interspecific hybridization and cell engineering of lettuce (*Lactuca* L.). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):256-264. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-256-264

Введение

Lactuca sativa L. (салат-латук, салат посевной) – это однолетняя культура семейства Asteraceae, широко возделываемая во всем мире благодаря своей высокой продуктивности и ценному биохимическому составу. Такие страны, как США, Китай, Индия, Япония, Испания и Италия, являются крупнейшими мировыми производителями салата. По данным ФАО ООН, производство салата (и цикория) на 2021 г. превысило 27 миллионов тонн, а задействованная под его посевы площадь составила 1,2 миллиона гектаров (FAOSTAT…, 2022). На 2023 г. в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ, было включено 470 сортов салата, большинство из которых характеризуются устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам среды (https://gossortrf.ru).

Основным фактором, ограничивающим урожайность культурного салата, является поражение растений различными заболеваниями и вредителями. Для решения этой проблемы, а также для обогащения генофонда этой экономически значимой культуры новыми полезными признаками широко используется межвидовая гибридизация (Engalicheva et al., 2015). С ее помощью можно передать ценные гены от дикорастущих видов к культурному, расширить генетическую изменчивость и получить новые перспективные формы с комплексом хозяйственно ценных признаков, включая высокую устойчивость к неблагоприятным факторам. Основное внимание в селекции салата уделяется внедрению генов устойчивости к ложной мучнистой росе, поскольку данное заболевание является наиболее серьезным поражением растений.

В мире насчитывается большое разнообразие видов салата. По классификации A. Lebeda et al. (2007) род *Lactuca* насчитывает около ста видов.

На основе концепции генофонда (Harlan, de Wet, 1971) виды *Lactuca* были разделены на три генофонда – первичный (GP-1), вторичный (GP-2) и третичный (GP-3).

Первичный генофонд представлен многочисленными сортами *L. sativa*, примитивными местными сортами и дикорастущими видами, прежде всего прямым предком культурного салата – *L. serriola* L., для которых не существует барьеров межвидового скрещивания (De Vries, 1997). Современные исследователи включают в этот генофонд также *L. aculeata* Boiss., *L. altaica* Fisch. & C.A. Mey., *L. azerbaijanica* Rech.f., *L. scarioloides* Boiss., *L. georgica* Grossh., *L. dregeana* DC. (Zohary, 1991; Lebeda et al., 2007; Jemelková et al., 2015; Chu et al., 2022). Как правило, виды салата, входящие в первичный генофонд, успешно скрещиваются между собой как спонтанно в природных популяциях, так и традиционными методами селекции. Успешная взаимная гибридизация *L. sativa* × *L. serriola* позволила ввести в культурный сорт несколько генов устойчивости к ложной мучнистой росе (Crute, 1992).

Вторичный генофонд включает виды, которые могут давать при гибридизации с GP-1 в F_1 частично фертильные растения (Harlan, de Wet, 1971). Во вторичный генофонд *Lactuca* включен *L. saligna* (Zohary, 1991; Singh, 2006). Скрещивание *L. saligna* × *L. sativa* возможно только в случае, если *L. saligna* используется в качестве материнской формы (De Vries, 1990).

К третичному генофонду относят виды, у которых различные пре- и постзиготические барьеры вызывают частичную или полную неудачу гибридизации между GP-1 и GP-3 (Singh, 2006). К третичному генофонду относят *L. virosa* L., а также *L. aurea* (Vis. & Pančić) Stebbins, *L. acanthifolia* (Willd.) Boiss., *L. alpestris* (Gand.) Rech.f., *L. indica* L., *L. oblongifolia* Nutt., *L. orientalis* Boiss., *L. quercina* L., *L. reviersii* Litard. & Maire, *L. sibirica* Benth. ex Maxim., *L. tatarica* (L.) C.A. Mey., *L. tetrantha* B.L. Burtt & P.H. Davis, *L. taraxacifolia* (Willd.) Schumach., *L. longidentata* Moris ex DC., *L. viminea* (L.) J. Presl & C. Presl и *L. watsoniana* Trel. и некоторые другие дикорастущие виды (Wei Z. et al., 2017; Wei T. et al., 2021; Chu et al., 2022).

Большинство современных сортов *L. sativa* созданы методом традиционной селекции – путем гибридизации с местными адаптированными сортами. Таким способом получены высокоурожайные, скороспелые сорта с высоким качеством и устойчивостью к абиотическим и биотическим стрессорам (Hassan et al., 2021). Однако этот метод имеет ограничения в возможности комбинирования генов и этим усложняет селекционный процесс (Samko, Snigireva, 2009). В настоящее время для получения форм с желаемыми признаками такие современные биотехнологические методы, как клеточная и генная инженерия, заменяют традиционные подходы к селекции растений. В частности, для салата применяются такие методы, как соматическая гибридизация и трансгенез. Для редактирования генов также широко используется технология CRISPR/Cas9.

В данной статье представлен обзор основных достижений по получению межвидовых гибридов салата, включая методы культуры клеток и тканей и генной инженерии.

Естественная и искусственная межвидовая гибридизация

Салат – автогамное растение, но также возможны и случаи спонтанного перекрестного опыления (De Vries, 1997). В природе виды, относящиеся к первичному генофонду, успешно скрещиваются между собой. Однако в большинстве случаев подобные гибриды между культурными и дикорастущими растениями *Lactuca* остаются незамеченными, поскольку они неотличимы по внешнему виду от своих диких родственников (Hooftman et al., 2005).

Ряд экспериментальных исследований посвящен изучению естественных гибридов между *L. sativa* × *L. serriola* (Hooftman et al., 2007; D'Andrea et al., 2008; Uwimana et al., 2012).

В 2007 г. D.A.P. Hooftman, M.J.D. Jong, J.G.B. Oostermeijer и др. предположили, что гибридизация между *L. sativa* и *L. serriola* привела к расширению естественного ареала *L. serriola* за счет улучшения его адаптивности (Hooftman et al., 2007).

В работе L. D'Andrea, F. Felber и R. Guadagnuolo (D'Andrea et al., 2008) говорится о возможности естественной гибридизации между *L. sativa* и *L. serriola*. Уровень гибридизации в этом исследовании варьировал от 0 до 26% в зависимости от расстояния между растениями. Свыше 80% растений дали по крайней мере один гибрид на расстоянии 1 м и от 4 до 5% на расстоянии 40 м.

B. Uwimana, L. D'Andrea, F. Felber и др. (Uwimana et al., 2012a) подтвердили гипотезу о повсеместном распространении естественных гибридов между *L. serriola* и *L. sativa.* Анализ показал, что общее распространение гибридных растений салата в Европе составило 7%.

Возможность естественной гибридизации *L. aculeata* × *L. serriola* также была подтверждена установлением гибридного происхождения нескольких образцов,

морфологически определенных как *L. aculeata*, но содержащих гены обоих видов. Несколько образцов проявляли морфологические признаки, характерные для *L. serriola*, при их выращивании в теплице (Jemelková et al., 2015).

В ряде работ сообщалось о спонтанной межвидовой гибридизации, обнаруженной в природных популяциях у *L. altaica* с *L. saligna* и *L. serriola*; *L. aculeata* с *L. sativa*; *L. serriola* с *L. dregeana* и *L. saligna* (Zohary, 1991; Křístková, 2012).

Работы по искусственной гибридизации проводили как для выявления эволюционных взаимосвязей между видами *Lactuca*, так и для целей прикладной селекции (Uwimana et al., 2012b; Hooftman et al., 2005, 2007, 2008, 2009). Несколько полевых экспериментов по гибридизации между *L. serriola* и культурным салатом показали улучшенные характеристики всхожести и жизнеспособности у гибридов по сравнению с их диким родителем: они прослеживались на протяжении четырех поколений, что могло быть связано с гетерозисом, сцепленным наследованием и трансгрессивной сегрегацией (Hooftman et al., 2005, 2007, 2008, 2009; Hartman et al., 2013). Были проведены эксперименты в контролируемых абиотических стрессовых условиях (засуха, засоление и дефицит питательных веществ) для выявления вклада аллелей генов в продуктивность потомства F_2, полученного от гибридизации между *L. sativa* и *L. serriola* путем переноса пыльцы (Uwimana et al., 2012b).

Таким образом, проведенные исследования наглядно показывают возможность естественной гибридизации между культурным и дикими видами *Lactuca*. Эксперименты по искусственной гибридизации и изучение естественных популяций позволили выяснить эволюционные связи между различными видами.

Методы культуры клеток и тканей

Для преодоления межвидовых барьеров при получении гибридов между дикими видами и культурным салатом широко используют методы клеточной биологии. Они основаны на регенерации растений из культуры протопластов, клеток и тканевых эксплантов. К таким методам относят, в частности, метод спасения незрелых эмбрионов и слияние протопластов посредством соматической гибридизации (Lebeda et al., 2014).

Существует несколько способов преодолеть половую несовместимость посредством спасения зародышей. Выбор методики связан с типом несовместимости, который возникает на этапе до или после оплодотворения.

Прогамная несовместимость проявляется при отдаленной гибридизации на этапе до оплодотворения и обусловлена морфологическими (различия родительских форм по длине столбика пестика и пыльцевой трубки; блокирование роста трубки на разных этапах ее пути от рыльца до микропиле семяпочки) или физиологическими (разное время созревания пыльцы или отсутствие нектара рыльца пестика) причинами (Shmykova et al., 2015). Основной способ ее преодоления – оплодотворение *in vitro*, которое заключается в совместном культивировании пыльцы и семяпочек. Сформировавшийся зародыш прорастает и дает начало гибридному поколению.

Постгамная несовместимость наблюдается после оплодотворения и приводит к образованию невсхожих семян. Если она связана с несоответствием темпов развития зародыша и эндосперма или непригодностью использующихся для питания зародыша метаболитов тканей материнского растения, то для ее преодоления применяют культивирование незрелых гибридных зародышей на питательной среде. Если она обусловлена генетическими причинами и приводит к аномалиям развития органов зародыша или молодого проростка, то для ее преодоления используют введение промежуточного этапа – получения гибридной каллусной ткани из живых тканей проростка или зародыша и регенерации растений на ее основе.

Спасение *in vitro* незрелых зародышей позволило получить гибриды *L. sativa* × *L. virosa* и *L. sativa* × *L. saligna* (Maisonneuve, Bellec, 1987; Maisonneuve, 2003). Генотип *L. sativa* при этом оказывал влияние на успешность культивирования эмбрионов.

Технологию соматической гибридизации растений путем слияния протопластов долгое время широко использовали для получения гибридов между культурным и дикорастущими видами салата (Hassan et al., 2021). Основным преимуществом этого метода является то, что в отличие от гибридов, полученных половым путем, при слиянии протопластов цитоплазматические гены передаются не только материнским путем, а от обоих родителей. С его помощью возможно также получать ассиметричные и многоплоидные гибриды (Samko, Snigireva, 2009).

Протопласты сливают физическими (электрослияние) или химическими (с помощью ПЭГ) методами и инкубируют. С помощью ПЭГ удалось провести слияние сортов *L. sativa* 'Evola' и 'Red Leaf Amboni' (Siddiqui, 2014). Межвидовая соматическая гибридизация культурного салата с *L. serriola* (Matsumoto, 1987) и *L. indica* (Mizutani et al., 1989) также достигнута данным методом (Matsumoto, 1987). При помощи электрослияния осуществлена соматическая гибридизация между сортами культурного салата (Siddiqui, 2014), а также *L. sativa* с *L. virosa* (Matsumoto, 1987) и с *L. indica* (Mizutani et al., 1989). Авторы отмечали, что эффективность метода электрослияния протопластов сортов *L. sativa* была на 40,51% выше, чем при использовании полиэтиленгликоля (Siddiqui, 2014).

Несмотря на то что регенерация протопластов культурного и дикого салата проходила успешно, фертильные растения в ранних исследованиях не были получены (Brown et al., 1987; Nishio et al., 1988). W. Chaipakdee (2007) в своем исследовании сообщил, что микроколонии наблюдали в течение 4 недель в культурах протопластов *L. sativa*, но в дальнейшем образования каллуса не происходило. У E. Matsumoto (1987, 1991) были получены гибридные регенеранты дикого и культурного салата *L. sativa* × *L. serriola* и *L. sativa* × *L. virosa.* Они имели нормальную морфологию, но демонстрировали признаки диких видов (жесткие волоски, горький вкус и т. д.), а также имели частичную или полную стерильность. Несмотря на неудачи, в недавнем исследовании (Son et al., 2022) фертильные растения корейского сорта салата 'Чеонгчима' успешно регенерированы из протопластов, полученных из листьев.

Методы спасения зародышей и соматической гибридизации имеют большой потенциал и перспективы для селекции растений, поскольку позволяют создавать новые формы сельскохозяйственных культур с улучшенными характеристиками, а также преодолевать барьеры, связанные с половой несовместимостью, однако в настоящее время их используют нечасто. В частности, в последнее время практически не поступало новых сообщений об использовании соматической гибридизации салата с целью интрогрессии генов диких видов в *L. sativa*,

и большая часть исследований относится к 80–90 годам прошлого века.

Трансформация

При отсутствии новой информации, касающейся переноса важных селекционных признаков от диких видов в *L. sativa* путем соматической гибридизации, в настоящее время активно исследуют возможности переноса генов в дикорастущий и культурный салат с помощью трансформации.

Первые попытки привнести в салат новые гены осуществляли посредством электропорации протопластов путем прямого поглощения ДНК или при помощи трансформации, опосредованной ПЭГ (Davey et al., 2009). Несмотря на то что были достигнуты определенные успехи, лишь немногие генотипы салата удалось преобразовать таким путем из-за сложностей с регенерацией растений. Впоследствии трансформацию протопластов осуществляли преимущественно с помощью агробактерий.

В 1987 г. группа исследователей (Michelmore et al., 1987) опубликовала первый протокол по трансформации с использованием *Agrobacterium tumefaciens* C58, ACH5 и GV3111 с pTiB6S3. Трансформация была достигнута с помощью различных интегрирующих и бинарных векторов *Ti* (pMON120, pMON200, pMON505), содержащих химерный ген устойчивости к канамицину. Таким способом удалось получить несколько сотен растений; при этом получение потомства от трансформированных растений заняло всего на 2–5 недель больше, чем при обычном жизненном цикле.

В протоколах, предложенных в ранних работах, успех трансформации часто зависел от генотипа растения (Michelmore et al., 1987; Torres et al., 1993), но в дальнейших исследованиях удалось добиться независимой от генотипа трансформации (Curtis et al., 1994; Wroblewski et al., 2005; Song et al., 2014; Chen et al., 2018).

При помощи трансформации в растения салата введен мутантный ген *P5CS*, придающий растению устойчивость к отрицательным температурам (Pileggi et al., 2001). Предложен механизм обеспечения засухоустойчивости путем подавления генов (*PIP*), кодирующих аквапорины плазматической мембраны (Porcel et al., 2006).

Устойчивость к грибковому патогену *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary достигнута путем переноса в салат гена хитиназы риса (*chi*) (Sharma et al., 2022). Гены, придающие устойчивость к вирусу мозаики салата, также введены при помощи трансформации (Dinant et al., 1997).

Субъединица термолабильного энтеротоксина B (LTB) *Escherichia coli* способна индуцировать иммунный ответ и может быть использована в качестве адъюванта при введении антигенов. Синтетический LTB (sLTB) введен в клетки *L. sativa* методами агробактериальной трансформации (Kim et al., 2007).

По сравнению с ядерной трансформацией, трансформация генома пластид имеет преимущество за счет многокопийности молекул ДНК в хлоропластах, что обеспечивает высокую продукцию трансгенов. Кроме того, пластидный геном наследуется материнским путем, что облегчает контроль над передачей генетических изменений. Тем не менее не все гены могут быть трансформированы таким путем. Пластидная трансформация при помощи генной пушки произведена для культурного салата сорта ‘Cisco’ (Kanamoto et al., 2006).

Трансформация салата открывает большие перспективы для получения «съедобных вакцин». Трансформацию, опосредованную *Agrobacterium tumefaciens*, использовали для получения трансгенных растений салата, несущих ген ВИЧ (вируса иммунодефицита человека) *gp-gp120* (Jing et al., 2007), а также вырабатывающих антигены к вирусу гепатита B (Marcondes, Hansen, 2008). Экстракты трансгенного салата, экспрессирующие поверхностный антиген гриппа H1N1 (нейраминидаза), вызывали иммунный ответ у мышей (Liu et al., 2012). Исследована биологическая активность белковых экстрактов салата, в который был введен ген человеческого интерферона *α2b*, в отношении вируса везикулярного стоматита (Matvieieva et al., 2012). Исследование показало зависимость противовирусной активности растительных экстрактов из корней или листьев от вектора, используемого для трансформации растений. Трансгенные растения *L. sativa* с генами, кодирующими синтез туберкулезных антигенов, также получены при помощи агробактериальной трансформации (Matvieieva et al., 2009).

Таким образом, исследования в области трансформации салата продолжают активно развиваться и вносят значительный вклад в селекцию и биотехнологию растений. Введение генов, придающих устойчивость к неблагоприятным условиям, а также создание «съедобных вакцин» открывают новые возможности для использования салата в медицине и сельском хозяйстве.

Редактирование генома

Для редактирования генома в последние десятилетия были разработаны такие технологии, как нуклеазы цинковых пальцев (Zinc-finger nucleases – ZFN), эффекторные нуклеазы, подобные активатору транскрипции (Transcription activator-like effector nuclease – TALEN), и кластеризованные регулярно расположенные короткие палиндромные повторы, узнаваемые нуклеазой Cas9 (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats, recognized by Cas9 nuclease – CRISPR/Cas9) (Kuzmina, 2020). Самым распространенным способом редактирования генома в настоящее время является технология CRISPR/Cas9, поскольку данный метод демонстрирует простоту, точность и предсказуемость результатов.

Несколькими исследователями разработан подробный протокол редактирования генома на основе RNP в протопластах салата с их последующей регенерацией (Woo et al., 2015; Park et al., 2019). При помощи Cas9 RNP из протопластов регенерированы мутанты по гену *LsNCED4*, ответственному за термоингибирование прорастания семян (Bertier et al., 2018). Его подавление позволило получить растения, прорастающие при высоких температурах, что может быть коммерчески ценным признаком в зонах с жарким климатом. Кроме того, *LsNCED4* можно использовать в качестве дополнительного маркера при редактировании CRISPR, поскольку его введение в геном позволит отобрать необходимые растения путем проращивания семян при высокой температуре.

Одним из направлений в селекции салата является получение сортов, обладающих поздним стрелкованием и, соответственно, цветением, поскольку оно вызывает ухудшение качества и вкуса листьев и сокращает время сбора урожая. В работе S. H. Choi et al. (2022) применена технология CRISPR с целью уменьшения экспрессии гена *SOC1*, кодирующего один из нескольких транскрипционных факторов, регулирующих начало цветения у салата. Время начала цветения было отложено за счет индукции

однонуклеотидной мутации с помощью RNP в *SOC1*, что привело также к снижению активности таких регуляторных генов, как *LsLFY*, *LsFUL*, *LsAPL1* и *LsAPL2*, отвечающих за цветение.

Исследования в области геномного редактирования салата с использованием таких современных технологий, как CRISPR/Cas9, открывают новые перспективы для быстрого создания высококачественных сортов, способных адаптироваться к различным условиям. Применение CRISPR/Cas9 в настоящее время широко распространено, поскольку позволяет вносить точечные изменения в генетический материал и редактировать конкретные участки генов, при этом отличаясь простотой и точностью результатов.

Обсуждение

В настоящее время чаще всего для получения новых признаков у салата используют технологию CRISPR/Cas9 посредством агробактериальной трансформации, электропорации или при помощи ПЭГ. Такой метод, как гибридизация соматических клеток, незаслуженно забыт – несмотря на это, у него есть некоторые преимущества. В отличие от CRISPR/Cas9, он может привести к более широкому спектру изменений, так как позволяет совмещать различные свойства родительских видов и получать полиплоидные и гибридные формы со сложными ядерно-цитоплазматическими комбинациями. Кроме того, соматические гибриды не признаются генетически модифицированными организмами и их оборот не подвергается строгому контролю.

Помимо положительных сторон, использование соматической гибридизации в селекции рождает некоторые проблемы, которые ограничивают его применение. Проведение соматической гибридизации и последующая селекция – кропотливый и долгий процесс. Прежде всего, стоит отметить, что хотя способы регенерации протопластов у салата были описаны как у культурных, так и дикорастущих видов, сообщения о регенерации жизнеспособных фертильных растений из протопластов довольно редки. Потеря способности к размножению у гибридов связана с возникновением различных генетических барьеров. Чаще всего это обусловлено нарушением мейоза в процессе гаметогенеза. Это приводит к образованию гамет с неправильным числом хромосом, что препятствует успешному оплодотворению и развитию зародышей. Кроме этого, стерильность может быть обусловлена как несовместимостью ядра и цитоплазмы, так и действием генов, препятствующих развитию женских и мужских органов цветка.

Редактирование генов с помощью CRISPR/Cas, несомненно, является более простой технологией, но с точки зрения законодателей различных стран, регулирующих оборот ГМО, полученные растения имеют либо неясный статус, либо приравниваются к генетически модифицированным организмам. По этой причине пока ни один сорт салата, даже обладающий потенциально ценными свойствами, еще не поступил в продажу. Доставка системы CRISPR/Cas посредством рибонуклеопротеина (RNP) может быть решением данной проблемы. RNP не задействует ДНК, поэтому полученные в результате отредактированные культуры, вероятно, выходят за рамки регулирования ГМО, открывая путь к широкому использованию данного способа редактирования генома в биотехнологии и сельском хозяйстве (Woo et al., 2015; Park et al., 2019).

Таким образом, любой подход к получению новых свойств у культурного салата имеет как преимущества, так и недостатки. Выбор между ними зависит от конкретной задачи и требований к модифицированным растениям.

Заключение

Lactuca sativa – широко распространенная по всему миру овощная культура. Основными направлениями в селекции салата являются повышение урожайности, улучшение вкусовых качеств растения, скороспелость, устойчивость к абиотическим и биотическим стрессорам. При создании новых сортов в настоящее время используют как традиционные, так и биотехнологические методы селекции. Соматическая гибридизация является незаслуженно забытой, но перспективной технологией в селекции салата, которая позволяет получать более широкий спектр изменчивости и не подвергается строгому контролю со стороны законов о ГМО. Однако этот метод рождает проблемы, связанные со сложностью регенерации протопластов и потерей способности к размножению у гибридов. Методы редактирования генома более эффективны и лучше поддаются контролю, однако общество все еще настороженно относится к любым вмешательствам в геном растений и законодательно регулирует продажу ГМ-продуктов в качестве продуктов питания. Доставка системы CRISPR/Cas посредством рибонуклеопротеина (RNP) может быть решением данной проблемы. Перед исследователями в дальнейшем стоит задача усовершенствования данных методик.

References / Литература

Berry S.F., Lu D.Y., Pental D., Cocking E.C. Regeneration of plants from protoplasts of *Lactuca sativa* L. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*. 1982;108(1):31-38. DOI: 10.1016/s0044-328x(82)80088-3

Bertier L.D., Ron M., Huo H., Bradford K.J., Britt A.B., Michelmore R.W. High-resolution analysis of the efficiency, heritability, and editing outcomes of CRISPR/Cas9-induced modifications of NCED4 in lettuce (*Lactuca sativa*). *G3 (Bethesda)*. 2018;8(5):1513-1521. DOI: 10.1534/g3.117.300396

Brown C., Lucas J.A., Power J.B. Plant regeneration from protoplasts of a wild lettuce species (*Lactuca saligna* L.). *Plant Cell Reports*. 1987;6(3):180-182. DOI: 10.1007/BF00268472

Chaipakdee W. Isolation and culture of protoplast from leaves of *Lactuca sativa*. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 2007;29(4):929-935.

Chen Z., Han Y., Ning K., Ding Y., Zhao W., Yan S. et al. Inflorescence development and the role of *LsFT* in regulating bolting in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Frontiers in Plant Science*. 2018;8:2248. DOI: 10.3389/fpls.2017.02248

Choi S.H., Ahn W.S., Jie E.Y., Cho H.S., Kim S.W. Development of late-bolting plants by CRISPR/Cas9-mediated genome editing from mesophyll protoplasts of lettuce. *Plant Cell Reports*. 2022;41(7):1627-1630. DOI: 10.1007/s00299-022-02875-w

Chu R., Xu X., Lu Z., Ma Y., Cheng H., Zhu S. et al. Plastome-based phylogeny and biogeography of *Lactuca* L. (Asteraceae) support revised lettuce gene pool categories. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:978417. DOI: 10.3389/fpls.2022.978417

Crute I.R. The role of resistance breeding in the integrated control of downy mildew (*Bremia lactucae*) in protected lettuce. *Euphytica*. 1992;63:95-102. DOI: 10.1007/BF00023915

Curtis I.S., Power J.B., Blackhall N.W., de Laat A.M.M., Davey M.R. Genotype-independent transformation of lettuce using *Agrobacterium tumefaciens*. *Journal of Experimental Botany.* 1994;45(10):1441-1449. DOI: 10.1093/jxb/45.10.1441

D'Andrea L., Felber F., Guadagnuolo R. Hybridization rates between lettuce (*Lactuca sativa*) and its wild relative (*L. serriola*) under field conditions. *Environmental Biosafety Research*. 2008;7(2):61-71. DOI: 10.1051/ebr:2008006

Davey M.R., Anthony P., Power J.B. Lowe K.C. Leafy vegetables. In: C. Kole, T.C. Hall (eds). *Compendium of Transgenic Crop Plants*. *Vol. 6. Transgenic Vegetable Crops.* Chichester: Wiley-Blackwell; 2009. p.217-248. DOI: 10.1002/9781405181099.k0610

De Vries I.M. Crossing experiments of lettuce cultivars and species (*Lactuca* sect. *Lactuca*, Compositae). *Plant Systematics and Evolution*. 1990;171(3):233-248. DOI: 10.1007/BF00940608

De Vries I.M. Origin and domestication of *Lactuca sativa* L. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 1997;44(2):165-174. DOI: 10.1023/A:1008611200727

Dinant S., Maisonneuve B., Albouy J., Chupeau Y., Chupeau M.C., Bellec Y. et al. Coat protein gene-mediated protection in *Lactuca sativa* against lettuce mosaic potyvirus strains. *Molecular Breeding*. 1997;3:75-86. DOI: 10.1023/a:1009671925550

Engalicheva I.A., Pishnaya O.N., Dzhos E.A., Timina L.T., Zolotareva O.I. Use of interspecific hybridization in *Capsicum* and *Lactuca* breeding for virus resistance. *Russian Agricultural Science Review*. 2015;6(6-2):2-4. [in Russian] (Енгалычева И.А., Пышная О.Н., Джос Е.А., Тимина Л.Т., Золотарева О.И. Использование межвидовой гибридизации в селекции перца и салата на устойчивость к вирусной инфекции. *Russian Agricultural Science Review*. 2015;6(6-2):2-4).

Engler D.E., Grogan R.G. Isolation, culture and regeneration of lettuce leaf mesophyll protoplasts. *Plant Science Letters*. 1982;28(2):223-229. DOI: 10.1016/s0304-4211(83)80013-3

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and agriculture data. Rome: FAO; 2022. Available from: http://www.fao.org/ [accessed Feb. 06, 2024].

Harlan J.R., de Wet J.M.J. Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon*. 1971;20(4):509-517. DOI: 10.2307/1218252

Hartman Y., Uwimana B., Hooftman D.A.P., Schranz M.E., van de Wiel C., Smulders M.J.M. et al. Genomic and environmental selection patterns in two distinct lettuce crop–wild hybrid crosses. *Evolutionary Applications*. 2013;6(4):569-584. DOI: 10.1111/eva.12043

Hassan M.N., Mekkawy S.A., Mahdy M., Salem K.F.M., Tawfik E. Recent molecular and breeding strategies in lettuce (*Lactuca* spp.). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2021;68(8):3055-3079. DOI: 10.1007/s10722-021-01246-w

Hooftman D.A.P., de Jong M.J., Oostermeijer J.G.B., Den Nijs H.C.M. Modelling the long-term consequences of crop–wild relative hybridization: a case study using four generations of hybrids. *Journal of Applied Ecology*. 2007;44(5):1035-1045. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2007.01341.x

Hooftman D.A.P., Hartman Y., Oostermeijer J.G.B., Den Nijs H.C.M. Existence of vigorous lineages of crop–wild hybrids in Lettuce under field conditions. *Environmental Biosafety Research*. 2009;8(4):203-217. DOI: 10.1051/ebr/2010001

Hooftman D.A.P., Oostermeijer J.G.B., Jacobs M.M.J., Den Nijs H.C.M. Demographic vital rates determine the performance advantage of crop–wild hybrids in lettuce. *Journal of Applied Ecology*. 2005;42(6):1086-1095. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2005.01086.x

Hooftman D.A.P., Oostermeijer J.G.B., Marquard E., Den Nijs H.C.M. Modelling the consequences of crop-wild relative gene flow: a sensitivity analysis of the effects of outcrossing rates and hybrid vigour breakdown in *Lactuca*. *Journal of Applied Ecology*. 2008;45(4):1094-1103. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2008.01508.x

Jemelková M., Kitner M., Křístková E., Beharav A., Lebeda A., Biodiversity of *Lactuca aculeata* germplasm assessed by SSR and AFLP markers, and resistance variation to *Bremia lactucae*. *Biochemical Systematics and Ecology*. 2015;61:344-356. DOI: 10.1016/j.bse.2015.07.003

Jing J., Ji J., Wang G., Wang P., Zhang P.Y. Establishment of genetic transformation system of lettuce by *Agrobacterium tumefaciens* and introduction of HIV *gap-gp120* gene. *Tianjin Agricultural Sciences*. 2007;13(1):14-17.

Kanamoto H., Yamashita A., Asao H., Okumura S., Takase H., Hattori M. et al. Efficient and stable transformation of *Lactuca sativa* L. cv. 'Cisco' (lettuce) plastids. *Transgenic Research*. 2006;15(2):205-217. DOI: 10.1007/s11248-005-3997-2

Kim T.G., Kim M.Y., Kim B.G., Kang T.J., Kim Y.S., Jang Y.S. et al. Synthesis and assembly of *Escherichia coli* heat-labile enterotoxin B subunit in transgenic lettuce (*Lactuca sativa*). *Protein Expression and Purification*. 2007;51(1):22-27. DOI: 10.1016/j.pep.2006.05.024

Křístková E., Lebeda A., Kitner M., Vafková B., Matoušková Z., Doležalová I. et al. Phenotypes of the natural interspecific hybrids in the genus *Lactuca*. *Úroda*. 2012;60(9):28-31.

Kuzmina Y.V. Methods of genome editing for increasing the shelf life of tomato fruits. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(1):31-39. [in Russian] (Кузьмина Ю.В. Методы редактирования генома для увеличения лёжкости плодов томата. *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(1):31-39). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-1-o6

Lebeda A., Křístková E., Kitner M., Mieslerova B., Jemelková M., Pink D. Wild *Lactuca* species, their genetic diversity, resistance to diseases and pests, and exploitation in lettuce breeding. *European Journal of Plant Pathology*. 2014;138(3):597-640. DOI: 10.1007/s10658-013-0254-z

Lebeda A., Ryder E.J., Grube R., Doležalová I., Křístková E. Lettuce (Asteraceae; *Lactuca* spp.). In: R.J. Singh (ed.). *Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement. Vol. 3. Vegetable Crops*. Boca Raton, FL: CRC Press; 2007. p.377-472. DOI: 10.1201/9781420009569.ch9

Liu C.W., Chen J.J.W., Kang C.C., Wu C.H., Yiu J.C. Transgenic lettuce (*Lactuca sativa* L.) expressing H1N1 influenza surface antigen (neuraminidase). *Scientia Horticulturae*. 2012;139:8-13. DOI: 10.1016/j.scienta.2012.02.037

Maisonneuve B. *Lactuca virosa*, a source of disease resistance genes in lettuce breeding: results and difficulties for gene introgression. In: Th.J.L. van Hintum, A. Lebeda, D. Pink, J.W. Schur (eds.). *EUCARPIA Leafy Vegetables 2003: Proceedings of the EUCARPIA Meeting on Leafy Vegetables Genetics and Breeding; Noordwijkerhout, the Netherlands, 19–21 March 2003*. Wageningen: CGN; 2003. p.61-67.

Maisonneuve B., Bellec Y. Utilisation de la culture *in vitro* d'embryons immatures pour les croisements interspécifiques entre *Lactuca sativa* L. et *L. saligha* L. ou *L. virosa* L.; étude des hybrides obtenu. *Agronomie*. 1987;7(5):313-319. [in French] DOI: 10.1051/agro:19870503

Marcondes J., Hansen E. Transgenic lettuce seedlings carrying hepatitis B virus antigen HBsAg. *The Brazilian Journal of*

Infectious Diseases. 2008;12(6):469-471. DOI: 10.1590/s1413-86702008000600004

Matsumoto E. Interspecific somatic hybridization between lettuce (*Lactuca sativa*) and wild species *L. virosa*. *Plant Cell Reports*. 1991;9(10):531-534. DOI: 10.1007/BF00232325

Matsumoto E. Production of somatic hybrids between *Lactuca sativa* and *L. serriola* by cell fusion. *Japanese Journal of Breeding*. 1987;37 Suppl l:134-135.

Matvieieva N.A., Kudryavets Y.I., Lichova A.A. Shachovsky A.M., Bezdenezhnykh N.A., Kvasko E.Yu. Antiviral activity of extracts of transgenic chicory and lettuce plants with the human interferon alpha*2b* gene. *Cytology and Genetics*. 2012;46(5):285-290. DOI: 10.3103/S0095452712050076

Matvieieva N.A., Vasylenko M.Yu., Shakhovsky A.M., Kuchuk N.V. Agrobacterium-mediated transformation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) with genes coding bacterial antigens from *Mycobacterium tuberculosis*. *Cytology and Genetics*. 2009;43(2):94-98. DOI: 10.3103/S0095452709020042

Michelmore R., Marsh E., Seely S., Landry B. Transformation of lettuce (*Lactuca sativa*) mediated by *Agrobacterium tumefaciens*. *Plant Cell Reports*. 1987;6(6):439-442. DOI: 10.1007/BF00272777

Mizutani T., Liu X.J., Tashiro Y., Miyazaki S., Shimazaki K. Plant regeneration and cell fusion of protoplasts from lettuce cultivars and related wild species in Japan. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Saga University*. 1989;67:109-118.

Nishio T., Sato T., Mori K., Takayanagi K. Simple and efficient protoplast culture procedure of lettuce, *Lactuca sativa* L. *Japanese Journal of Breeding*. 1988;38(2):165-171.

Park J., Choi S., Park S., Yoon J., Park A.Y., Choe S. DNA-free genome editing via ribonucleoprotein (RNP) delivery of CRISPR/Cas in lettuce. *Methods in Molecular Biology*. 2019;1917:337-354. DOI: 10.1007/978-1-4939-8991-1_25

Pileggi M., Mielniczki Pereira A.A., dos Santos Silva J., Pileggi S.A.V., Verma D.P.S., Delauney A.J. et al. An improved method for transformation of lettuce by *Agrobacterium tumefaciens* with a gene that confers freezing resistance. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2001;44(2):191-196. DOI: 10.1590/S1516-89132001000200013

Porcel R., Aroca R., Azcón R., Ruiz-Lozano J.M. PIP aquaporin gene expression in arbuscular mycorrhizal *Glycine max* and *Lactuca sativa* plants in relation to drought stress tolerance. *Plant Molecular Biology*. 2006;60(3):389-404. DOI: 10.1007/s11103-005-4210-y

Samko O.V., Snigireva A.V. The use of somatic hybridization technology in plant breeding (Ispolzovaniye tekhnologii somaticheskoy gibridizatsii v selektsii rasteniy). *Amurskiy nauchny vestnik = Amur Scientific Bulletin*. 2009;(1):233-239. [in Russian] (Самко О.В., Снигирева А.В. Использование технологии соматической гибридизации в селекции растений. *Амурский научный вестник*. 2009;(1):233-239).

Sharma S., Gautam N., Thakur A.K., Srivastava D.K. Transgenic lettuce (*Lactuca sativa* L.) harboring chitinase gene expressed resistance against a devastating fungus, *Sclerotinia sclerotiorum*. *International Journal of Plant Research.* 2022;36(2):1265–1274. DOI: 10.1007/s42535-022-00519-8

Shmykova N.A., Suprunova T.P., Pivovarov V.F. Biotechnologies and molecular methods in vegetable crop breeding (to 95th anniversary of VNIISSOK). *Agricultural Biology*. 2015;50(5):561-570. [in Russian] (Шмыкова Н.А., Супрунова Т.П., Пивоваров В.Ф. Биотехнологические и молекулярно-генетические методы в селекции овощных культур (к 95-летию ВНИИССОК). *Сельскохозяйственная биология*. 2015;50(5):561-570). DOI: 10.15389/agrobiology.2015.5.561rus

Siddiqui M.R. Somatic hybridization via protoplasts fusion in *Lactuca sativa* (Lettuce) and it's fused product response to culture media. *Journal of Agricultural Research*. 2014;52(1):1-9.

Singh R.J. (ed.). Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement. Vol. 3. Vegetable Crops. Boca Raton, FL: CRC Press; 2006. DOI: 10.1201/9781420009569

Son B.H., Park C.G., Khakurel D., Hwang J., Kim W.Y., Jeon B.G. et al. Fertile plant regeneration from protoplasts of the Korean lettuce cultivar "Cheongchima" (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Agriculture and Life Science*. 2022;56(5):45-50. DOI: 10.14397/jals.2022.56.5.45

Song D., Han Q., Dong Z., He Z. Genetic transformation of lettuce (*Lactuca sativa*): A review. *African Journal of Biotechnology*. 2014;13(16):1686-1693. DOI: 10.5897/AJB2014.13651

State Register for Selection Achievements Admitted for Usage: [website]. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию: [сайт]). URL: https://gossortrf.ru [дата обращения: 06.02.2024].

Torres A.C., Cantliffe D.J., Laughner B., Bieniek M., Nagata R., Ashraf M. et al. Stable transformation of lettuce cultivar South Bay from cotyledon explants. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 1993;34:279-285. DOI: 10.1007/bf00029717

Uwimana B., D'Andrea L., Felber F., Hooftman D.A.P., Den Nijs H.C.M., Smulders M.J.M. et al. A Bayesian analysis of gene flow from crops to their wild relatives: cultivated (*Lactuca sativa* L.) and prickly lettuce (*L. serriola* L.) and the recent expansion of *L. serriola* in Europe. *Molecular Ecology*. 2012a;21(11):2640-2654. DOI: 10.1111/j.1365-294X.2012.05489.x

Uwimana B., Smulders M.J.M., Hooftman D.A.P., Hartman Y., van Tienderen P.H., Jansen J. et al. Hybridization between crops and wild relatives: the contribution of cultivated lettuce to the vigour of crop–wild hybrids under drought, salinity and nutrient deficiency conditions. *Theoretical and Applied Genetics*. 2012b;125(6):1097-1111. DOI: 10.1007/s00122-012-1897-4

Wei T., van Treuren R., Liu X., Zhang Z., Chen J., Liu Y. et al. Whole-genome resequencing of 445 *Lactuca* accessions reveals the domestication history of cultivated lettuce. *Nature Genetics*. 2021;53(5):752-760. DOI: 10.1038/s41588-021-00831-0

Wei Z., Zhu S.X., Van Den Berg R.G., Bakker F.T., Schranz M.E. Phylogenetic relationships within *Lactuca* L. (Asteraceae), including African species, based on chloroplast DNA sequence comparisons. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2017;64(1):55-71. DOI: 10.1007/s10722-015-0332-5

Woo J.W., Kim J., Kwon S.I., Corvalán C., Cho S.W., Kim H. et al. DNA-free genome editing in plants with preassembled CRISPR-Cas9 ribonucleoproteins. *Nature Biotechnology*. 2015;33(11):1162-1164. DOI: 10.1038/nbt.3389

Wroblewski T., Tomczak A., Michelmore R. Optimization of *Agrobacterium*-mediated transient assays of gene expression in lettuce, tomato and *Arabidopsis*. *Plant Biotechnology Journal*. 2005;3(2):259-273. DOI: 10.1111/j.1467-7652.2005.00123.x

Zohary D. The wild genetic resources of cultivated lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Euphytica*. 1991;53(1):31-35. DOI: 10.1007/BF00032029

Информация об авторах

Наталья Андреевна Загнухина, и. о. младшего научного сотрудника, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, nzagnuhina97@gmail.com, http://orcid.org/0009-0000-7079-3278

Анастасия Борисовна Курина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, и. о. заведующего лабораторией, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, a.kurina@vir.nw.ru, http://orcid.org/0000-0002-3197-4751

Information about the authors

Natalia A. Zagnukhina, Acting Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, nzagnuhina97@gmail.com, http://orcid.org/0009-0000-7079-3278

Anastasia B. Kurina, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Acting Head of a Laboratory, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, a.kurina@vir.nw.ru, http://orcid.org/0000-0002-3197-4751

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.02.2024; одобрена после рецензирования 13.08.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 28.02.2024; approved after reviewing on 13.08.2024; accepted for publication on 04.09.2024.

Статья редакционная
УДК 631.52:635.1:635.25/.26:635.3/.7

Выборочный список «Каталогов мировой коллекции ВИР» по овощным и бахчевым культурам за 1962–2023 гг.

Серия *«Каталог мировой коллекции ВИР» / Catalogue of the VIR Global Collection* предназначена для селекционеров, специалистов-растениеводов для решения практических задач в селекции и семеноводстве, научных работников, осуществляющих фундаментальные и прикладные научные исследования, а также для учебных целей. Издания серии способствуют раскрытию потенциала мировой коллекции генетических ресурсов растений ВИР, гербарной коллекции ВИР (WIR) как важной части российских биоресурсных коллекций (БРК).

Редакция журнала *«Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции»* приняла решение опубликовать выборочный список «Каталогов мировой коллекции ВИР» по овощным и бахчевым культурам за 1962–2023 гг. с целью отражения многолетней издательской деятельности ВИР, привлечения дополнительного внимания к серии *«Каталог мировой коллекции ВИР» / Catalogue of the VIR Global Collection* и уточнения для авторов научных статей номеров и названий выпусков серии. Для удобства пользования материал расположен в хронологическом порядке, по номерам выпусков. Мы надеемся, что список окажется полезным для наших читателей и авторов научных статей.

Для цитирования: Выборочный список «Каталогов мировой коллекции ВИР» по овощным и бахчевым культурам за 1962–2023 гг. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):265-276. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-265-276

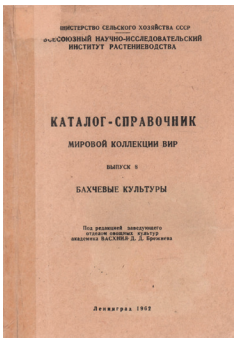
Editorial article

Selective list of the Catalogues of the VIR Global Collection on vegetables and cucurbits published in 1962–2023

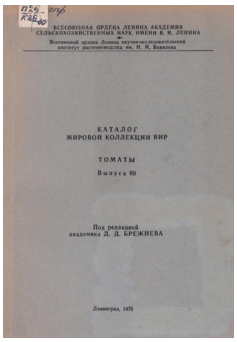
The *Catalogue of the VIR Global Collection* series is addressed to plant breeders and crop experts solving practical problems in plan breeding and seed production, plant scientists conducting fundamental and applied research, teachers and learners. The publications within this series help to disclose the potential of the VIR global collection of plant genetic resources and the VIR herbarium (WIR) as an important part of Russian bioresource collections (BRC).

The editors of the journal *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding* decided to publish the *Selective list of the Catalogues of the VIR Global Collection on vegetables and cucurbits published in 1962–2023* to throw light on VIR's publishing activities, attract more attention to the *Catalogue of the VIR Global Collection* series, and specify the numbers and titles of the series' issues for authors of scientific manuscripts. For the users' convenience, the sources are arranged chronologically, following the order of issue numbers. The editors hope that this list will prove useful to our readers and authors.

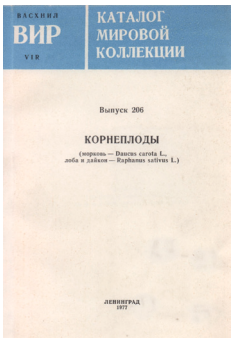
For citation: Selective list of the Catalogues of the VIR Global Collection on vegetables and cucurbits published in 1962–2023. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):265-276. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-265-276



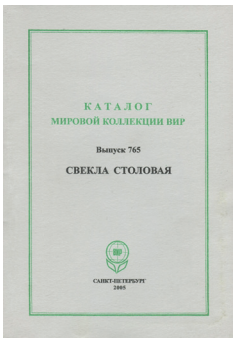
Выпуск 8



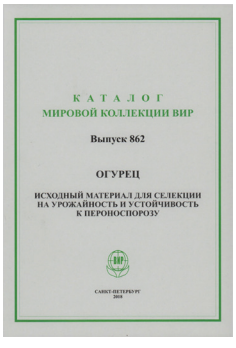
Выпуск 60



Выпуск 206



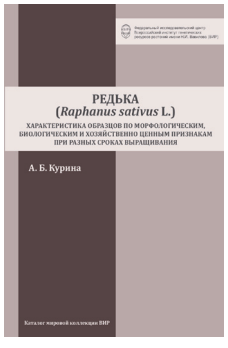
Выпуск 765



Выпуск 862



Выпуск 872



Выпуск 926



Выпуск 928

1. Каталог – справочник мировой коллекции ВИР. Вып. 8. Бахчевые культуры / составители: А.И. Филов, Т.Б. Фурса, А.С. Щукина, М.И. Малинина, Е.М. Васецова ; под ред. Д.Д. Брежнева ; Министерство сельского хозяйства СССР, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. Ленинград : ВИР, 1962. 83 с.

2. Каталог – справочник мировой коллекции ВИР. Вып. 22. Огурцы в закрытом грунте / Г.В. Боос ; под ред. Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. Ленинград : ВИР, 1965. 145, [1] с.

3. Каталог – справочник мировой коллекции ВИР. Вып. 24. Корнеплоды семейства зонтичных (морковь, сельдерей, петрушка, пастернак) / составители: В.И. Сечкарев, Л.И. Левандовская ; под ред. Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. Ленинград : ВИР, 1965. 88 с.

4. Каталог – справочник мировой коллекции ВИР. Вып. 25. Томаты / составители: Е.Я. Глущенко, А.И. Стрекалова ; под ред. Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. Ленинград : ВИР, 1965. 215 с.

5. Каталог – справочник [мировой коллекции ВИР]. О новых образцах коллекции ВИР / редакторы: З.Д. Артюгина, Р.Х. Макашева, М.М. Якубцинер ; ответственный за выпуск З.Д. Артюгина ; под редакцией Д.Д. Брежнева ; [составители: по овощным и бахчевым: З.Д. Артюгина, Г.В. Боос, И.Б. Гаранько, К.В. Иванова, Н.Ф. Корень, В.Т. Красочкин, Т.В. Лизгунова, Н.А. Окатова, Б.И. Сечкарев, А.К. Станкевич, А.И. Стрекалова, Т.Б. Фурса] ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. Ленинград : ВИР, 1966. 122 с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР ; вып. 1). Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 54-74).

6. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 32. Каталог образцов мировой коллекции ВИР, перспективных в условиях орошения / редакторы: Р.Х. Макашева, И.К. Иорданова, Р.А. Удачин, Ю.Н. Щербаков ; ответственный за выпуск Р.Х. Макашева ; под общей редакцией Д.Д. Брежнева ; [составители: по овощным и бахчевым: В.Н. Балабанов, Е.П. Кирсанова, Л.И. Левандовская, Т.В. Лизгунова, Б.И. Сечкарев, А.И. Стрекалова, А.С. Щукина ; русская транскрипция названий иностранных сортов дана Б.Я. Розеном] ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1967. 134 с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 69-82).

7. Каталог [мировой коллекции ВИР]. Вып. 43. О новых образцах коллекции ВИР / подготовили: сотрудники отдела интродукции ВИР: (К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицына, Е.А. Толмачева, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков), заведующие Павловского и Майкопского интродукционно-карантинных питомников института: (В.С. Ефимова, Ю.М. Данилевич) ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1969. 53, [1] с. Из содерж.: (Овощные культуры. С. 42-52).

8. Каталог [мировой коллекции ВИР]. Вып. 45. Гербарий Всесоюзного научно-исследовательского института им. Н.И. Вавилова / составители: В.А. Борковская, С.С. Восканьян ; под редакцией В.В. Никитина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1969. 91, [1] с. : фот. Из содерж.: (Овощные культуры. С. 50-60).

9. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 59. Каталог новых образцов мировой коллекции ВИР / подготовили: сотрудники отдела интродукции: С.Н. Бахарева, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицына, Е.А. Толмачева, Ю.Н. Щербаков ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1970. 98 с. Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 53-95).

10. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 60. Томаты / составители: А.И. Стрекалова, И.Б. Гаранько ; под редакцией Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1970. 197 с.

11. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 61. Перец / составители: В.Л. Газенбуш, А.В. Зыкина ; редактор Г.В. Боос ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1970. 213 с.

12. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 65. Каталог новых образцов мировой коллекции ВИР / подготовили: сотрудники отдела интродукции: (К.А. Кобылянская, Е.А. Толмачева, А.Ф. Коломицына, С.Н. Бахарева, Ю.Н. Щербаков), заведующие интродукционно-карантинных питомников: (В.С. Ефимова, Е.П. Гогун, Ю.М. Данилевич, О.В. Еременко) ; под редакцией К.З. Будина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1970. 109 с. Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 71-33).

13. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 66. Каталог образцов сельскохозяйственных культур, собранных зарубежными экспедициями ВИР в 1968–1969 гг. / составители: С.Н. Бахарева, Ф.В. Гуревич, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицына, Е.А. Толмачева, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков : под редакцией К.З. Будина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1970. 172, [1] с.

14. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 81. Огурцы / [составители: Э.Т. Мещеров, Л.М. Юлдашева, М.П. Алексеева] ; под редакцией Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1971. 37 с.

15. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 84. Каталог новых образцов мировой коллекции ВИР / подготовили: сотрудники отдела интродукции: (К.А. Кобылянская, Е.А. Толмачева, А.Ф. Коломицина, С.Н. Бахарева, Ю.Н. Щербаков), сотрудники интродукционно-карантинных питомников института: (В.С. Ефимова, Е.П. Гогун) ; под редакцией К.З. Будина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1971. 79, [1] с. Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 54-70).

16. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 87. Репчатый лук / составители: А.А. Казакова, С.К. Мищик ; под редак-

цией Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1972. 144 с.

17. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 105. Корнеплоды вида *Raphanus sativus* L. (редька и редис) / составители: Л.В. Сазонова, Р.А. Комарова ; под редакцией А.А. Казаковой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1973. 53 с.

18. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 110. Каталог образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в коллекцию ВИР в 1970 году / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицина, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич ; под редакцией К.З. Будина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1973. 243, [1] с. : табл.

19. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 126. Каталог образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в коллекцию ВИР в 1971 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицина, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич ; под редакцией К.З. Будина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1974. 245, [1] с. : табл.

20. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 130. Бахчевые культуры / каталог подготовили: Т.Б. Фурса, Е.М. Васецова, М.И. Малинина, А.С. Щукина, Т.А. Шумилова, З.Д. Артюгина, В.Н. Калягин, А.М. Молчанова, Н.С. Шашенок ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1974. 159 с.

21. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 136. Каталог образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в коллекцию ВИР в 1972 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицина, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич ; под редакцией К.З. Будина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1974. 307, [1] с. : табл.

22. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 141. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1973 году / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицина, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич ; под редакцией К.З. Будина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1975. 214, [1] с. : табл.

23. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 151. Томаты : (исходный материал для селекции на пригодность к механизированной уборке урожая) / составители: Е.Я. Глущенко, А.Н. Лукьяненко, А.И. Стрекалова ; под редакцией Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1975. 87, [1] с.

24. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 155. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1974 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич ; под редакцией К.З. Будина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1975. 219, [1] с. : табл.

25. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 165. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1975 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ф.В. Гуревич ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1976. 156 с. : табл.

26. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 172. Сахарная свекла / составители: В.Т. Красочкин, В.И. Буренин ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1976. 49, [1] с. : табл.

27. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 187. Столовая свекла / составители: В.Т. Красочкин, Г.А. Луковникова, В.И. Буренин ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1976. 44 с. : табл.

28. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 188. Генетические исьлчники для решения актуальных проблем селекции сельскохозяйственных культур / [составители: А.Н. Лукьяненко (томаты), Э.Т. Мещеров, Л.М. Юлдашева, В.И. Пыженков (огурцы) ; ответственный редактор А.Я. Трофимовская ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1977. 157, [1] с. : табл. Из содерж.: (Томаты. С. 94-105; Огурцы. С. 106-108).

29. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 189. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1976 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.К. Петрова, Ф.В. Гуревич ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1977. 203, [1] с. : табл.

30. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 198. Баклажаны вида *Solanum melongena* L. / составители: С.П. Дикий, Л.И. Студенцова ; под редакцией Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1977. 135 с.

31. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 205. Экспресс-информация о новых образцах / подготовили: сотрудники отдела интродукции: (С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.К. Петрова), заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, В.С. Ефимова, Н.А. Кирьян, Г.Н. Павлов, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас) ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1977. 82, [2] с. Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 75-81).

32. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 206. Корнеплоды (морковь – *Daucus carota* L., лоба и дайкон – *Raphanus sativus* L.) / составители: Л.В. Сазонова, Л.И. Левандовская, И.П. Пантелеймонова, Г.А. Луковникова ; под редакцией Л.В. Сазоновой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1977. 130 с. : табл.

33. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 221. Кочанная капуста / составители: Т.В. Лизгунова, Г.В. Боос, Т.И. Джохадзе ; под редакцией Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1978. 152 с.

34. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 226. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1977 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.К. Петрова, Ф.В. Гуревич ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1978. 133, [1] с. : табл.

35. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 230. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, Ю.Н. Щербаков, В.А. Чикова, Н.К. Петрова, заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, Г.Н. Павлов, В.С. Ефимова, Н.А. Кирьян, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас) ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1978. 95, [1] с. Из содерж.: (Овощные культуры. С. 85-93).

36. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 252. Образцы сельскохозяйственных культур, поступиавшие в 1978 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1979. 245, [3] с. : табл.

37. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 257. Полевая устойчивость баклажанов к распространенным болезням и вредителям / составители: С.П. Дикий, Е.Т. Неклюдова, Л.И. Студенцова ; под редакцией В.И. Кривченко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1979. 49 с. : табл.

38. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 266. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.С. Несмеянова, заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, Н.А. Кирьян, Г.Н. Павлов, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас) ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1979. 109, [3] с. Из содерж.: (Овощные культуры. С. 98-110).

39. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 268. Устойчивые к инфекционным болезням сорта и образцы сельскохозяйственных растений / подготовлен научными сотрудниками отдела иммунитета ВИР ; ответственный составитель В.И. Кривченко ; под редакцией Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1979. 164, [2] с. : табл. Из содерж.: (Брежнев Д.Д., Власова Э.А., Симон А.М., Тимошенко З.В., Фарбер В.В., Пугачева Т.И., Кривченко В.И., Сурмава М.Е. Сорта овощных культур устойчивые к главнейшим возбудителям болезней. С. 86-127).

40. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 273. Лучшие образцы коллекции многолетних трав и кормовых корнеплодов для Нечерноземной зоны РСФСР / [составитель: Н.С. Пивоварова (турнепс, брюква)] ; под редакцией А.И. Иванова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1980. 63, [1] с.

41. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 274. Перечень таксонов, поступивших в Гербарий ВИР из-за рубежа с 1968 по 1977 г. / составитель Н.И. Белозор ; под редакцией О.Н. Коровиной ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1980. 59, [1] с.

42. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 276. Кормовые корнеплоды (свекла, брюква, турнепс) / составители: В.И. Буренин, Н.С. Пивоварова, С.И. Пилипенко ; под редакцией Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1980.103, [1] с. : табл.

43. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 277. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1979 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1980. 197, [1] с. : табл.

44. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 281. Образцы капусты с характеристикой устойчивости проростков к пониженным температурам / составители: Э.А. Барашкова, Г.В. Боос, В.С. Смирнова ; под редакцией Д.Д. Брежнева, Г.В. Удовенко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1980. 39 с. : табл.

45. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 284. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.С. Несмеянова, Ф.В. Гуревич, заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, Н.А. Кирьян, Г.Н. Павлов, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас) ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1980. 126 с. Из содерж.: (Овощные культуры. С. 74-88).

46. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 287. Видовое разнообразие зеленных овощных культур / составители: М.М. Гиренко, Р.А. Комарова ; под редакцией Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский инсти-

тут растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1980. 201 с.

47. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 290. Капуста : (Устойчивость сортов к килe) / составители: М.Е. Сурмава, В.И. Кривченко, Г.В. Боос ; под редакцией Г.В. Бооса ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1980. 72 с. : табл.

48. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 305. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1980 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1981. 110, [2] с. : табл.

49. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 307. Чеснок / составители: А.А. Казакова, С.К. Мищик, Л.С. Борисенкова ; под редакцией А.А. Казаковой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1981. 118, [2] с.

50. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 308. Сорта сельскохозяйственных культур для возделывания в аграрной зоне БАМ на севере Амурской области / составители: Э.Н. Ломакин, О.А. Евдокимова, В.А. Мищенко, Н.Г. Пантелеева, Л.А. Слободчикова, В.Е. Фомина, А.Н. Свистунов ; под редакцией Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1981. 59, [1] с. : табл. Из содерж.: (Овощные культуры. С. 10-28).

51. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 314. Агрометеорологическая характеристика сортов белокочанной капусты / составители: Т.В. Лизгунова, В.М. Степанова, Т.И. Джохадзе ; под редакцией Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1981. 16 с. : табл.

52. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 321. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.С. Несмеянова, Ф.Г. Гуревич, заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, Н.А. Кирьян, Г.Н. Павлов, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас) ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1981. 108 с. Из содерж.: (Овощные культуры. С. 98-107).

53. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 322. Растительные ресурсы Советского Союза (экспедиции ВИР в 1971–1980 годах) / составители: Э.Т. Мещеров, К.А. Кобылянская ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1981. 125, [3] с. : табл.

54. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 325. Томаты / составители: Е.Я. Глущенко, А.Н. Лукьяненко, Л.Н. Попова, О.М. Дмитриева ; под редакцией Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1981. 159, [1] с.

55. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 327, ч. 2. Каталог типов таксонов растений, хранящихся в гербарии ВИР / составители: О.Н. Коровина, Н.И. Белозор, Н.М. Черноморская ; под редакцией О.Н. Коровиной ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1985. 21, [1] с.

56. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 342. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1981 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1982. 97, [1] с. : табл.

57. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 344. Полевая устойчивость репы, турнепса, брюквы к заболеваниям при вегетации и хранении / составители: Н.С. Пивоварова, Т.М. Хохрякова ; под редакцией А.И. Иванова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1982. 50, [2] с. : табл.

58. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 351. Дикие сородичи культурных растений Среднеазиатского генцентра / составитель О.Н. Коровина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1982. 98, [2] с. : карт.

59. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 355. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, заведующие интродукционно-карантинными питомниками института: (Е.П. Гогун, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, Н.А. Кирьян, Г.Н. Павлов, О.З. Сытник, Л.Г. Тарасовская, Ф.Т. Цангас) ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1982. 104 с. Из содерж.: (Овощные культуры и бахчевые культуры. С. 94-102).

60. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 356. Информация о зарубежных экспедициях и командировках ВИР в 1971–1980 гг. / составители: Э.Т. Мещеров, К.А. Кобылянская ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1982. 39, [1] с. : табл.

61. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 358. Репчатый лук : (устойчивость образцов к ложной мучнистой росе) / А.А. Казакова, Е.Т. Неклюдова, Л.С. Борисенкова ; под редакцией Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1982. 54 с. : табл.

62. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 373. Шпинат – *Spinacca deraco* L. : (исходный материал для селекции) / составитель: В.П. Пичкина ; под редакцией А.А. Казаковой, Р.А. Комаровой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1984. 119, [1] с.

63. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 379. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1982 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1983. 83, [1] с. : табл.

64. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 389. Доноры и источники важнейших хозяйственно-ценных признаков культурных растений для решения актуальных проблем селекции / составители: В.Ф. Дорофеев, В.А. Вершинина, К.С. Горская [и др.] ; [составители: овощные культуры: Г.В. Боос, В.И. Буренин, Э.А. Власова, М.В. Воронина, И.Б. Гаранько, Е.Я. Глущенко, Т.И. Джохадзе, В.И. Пыженков, Л.В. Сазонова, Т.Б. Фурса ; подредакцией В.Ф. Дорофеева, В.Д. Кобылянского ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1984. 267, [1] с. Из содерж.: (Овощные культуры: (Томаты. С. 223-242; Перец. 243-245; Капуста белокачанная. С. 245-247; Огурцы. С. 248-251; Морковь. С. 251-253; Свекла столовая. С. 253-256; Арбуз. С. 256).

65. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 394. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1983 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1984. 100 с. : табл.

66. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 395. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, Е.П. Гогун, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксузян, Л.П. Тарасовская, Ф.Т. Цангас, О.З. Сытник ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1983. 122, [2] с. Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 109-121).

67. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 414. Холодоустойчивость тыквы на раннем этапе онтогенеза (тыква, кабачок, патиссон) / составители: В.В. Виноградова, З.Д. Артюгина, Л.М. Юлдашева ; под редакцией: Г.В. Удовенко, Г.В. Бооса ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1985. 27, [1] с. : табл.

68. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 418. Экспресс-информация о новых образцах / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Н.С. Несмеянова, С.Г. Иванова, В.А. Полякова, А.И. Танцюра, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксузян, Л.П. Тарасовская, Ф.Т. Цангас, Е.И. Федоренко ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1984. 133, [3] с. Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 120-133).

69. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 420, ч. 1. Томаты : (Оценка устойчивости к кладоспориозу) / составители: Э.А. Власова, И.Б. Гаранько, А.М. Симон ; под редакцией В.И. Кривченко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1984. 39, [1] с. : табл.

70. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 423. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1984 г. / составители: С.Н. Бахарева, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, Ф.В. Гуревич, Н.С. Несмеянова ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1984. 131, [5] с. : табл.

71. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 429. Сорта овощных культур селекции Крымской опытно-селекционной станции ВИР / составители: А.В. Медведев, Н.А. Самарин, М.Е. Егинян, А.Г. Беседин, А.А. Капустин, А.И. Удовенко, Л.Н. Якименко, Р.Н. Капустина ; под редакцией А.М. Дрозда ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1987. 35, [1] с. : ил.

72. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 430. Сахарная свекла / составители: В.И. Буренин, Н.А. Нечипоренко, З.В. Тимошенко, В.Н. Колесник, Т.В. Хмелинская ; под редакцией В.И. Буренина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1985. 46, [2] с. : табл.

73. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 441. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в коллекцию ВИР в 1984 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксузян, Ф.Т. Цангас, Н.С. Несмеянова, В.А. Полякова, Л.Г. Тарасовская, Е.И. Федоренко ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1986.145, [1] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 123-143).

74. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 444. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1985 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, Ю.Н. Щербаков ; под редакцией Э.Т. Мещерова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1985. 66, [2] с.

75. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 448. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1986 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, К.А. Кобылянская, В.А. Чикова, И.Г. Шмараев, Н.М. Зотеева, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксузян, Ф.Т. Цангас, Е.И. Казакова, Т.А. Комарова, В.А. Полякова ; под редакцией С.Н. Бахаревой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1988. 141, [3] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 131-141).

76. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 455. Бахчевые культуры (арбуз, дыня, тыква) / составители: Т.Б. Фурса, М.И. Малинина, З.Д. Артюгина, Л.М. Юлдашева, Г.Н. Андросова, Р.С. Сорокина, С.И. Хрипко, Л.В. Чижков, Г.А. Теханович,

О.Ф. Поляничко, В.В. Воскресенская ; под редакцией Г.В. Бооса ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1988. 205, [1] с.

77. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 468. Основные сорно-полевые растения сельскохозяйственных культур Ленинградской области / составители: Т.Н. Ульянова, Э.С. Терехин, Н.Б. Серафимович, Г.В. Шибакина, Т.И. Кравцова, В.И. Кондратенко, И.А. Иванов ; под редакцией М.Г. Агаева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, Ботанический институт им. В.Л. Комарова АН СССР. Ленинград : ВИР, 1988. 111, [1] с. : ил.

78. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 473. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1987 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.А. Кирьян, Р.А. Озксузян, Ф.Т. Цангас, Е.И. Казакова, И.Г. Шмараев, М.Х. Галаев, Т.Н. Кожанова, В.А. Полякова ; под редакцией С.Н. Бахаревой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1988. 135, [3] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 122-135).

79. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 476. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1987 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, К.А. Кобылянская, М.Х. Галаев, Т.А. Комарова, Л.А. Бавтунова ; под редакцией С.Н. Бахаревой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1988. 31, [1] с. : табл.

80. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 487. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1988 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, И.Г. Шмараев, Т.Н. Кожанова, М.Х. Галаев ; под редакцией С.Н. Бахаревой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 36, [1] с. : табл.

81. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 490. Образцы кочанной капусты с характеристикой солеустойчивости, жаростойкости и устойчивости к пониженным температурам на ранних этапах онтогенеза / составители: Э.А. Барашкова, Т.И. Джохадзе, А.П. Ивакин, И.А. Косарева, Л.Н. Попова, В.Н. Синельникова, Л.Е. Фейерабенд ; под редакцией В.Н. Синельниковой, В.И. Буренина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 38, [2] с. : табл

82. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 491. Образцы томата с характеристикой солеустойчивости и жаростойкости на ранних этапах онтогенеза / составители: А.П. Ивакин, В.Н. Синельникова, И.Б. Гаранько, И.А. Косарева, О.М. Дмитриева, И.А. Бажанов, Л.Н. Попова ; под редакцией В.Н. Синельниковой, В.И. Буренина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 50, [2] с. : табл.

83. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 497. Сорта сельскохозяйственных культур селекции Дальневосточной опытной станции / составители: А.Н. Тимофеев, В.П. Царенко, А.К. Новоселов, В.Т. Богинич, Н.М. Бочкарникова, Р.И. Живчикова, П.П. Булах, Л.П. Толкачева, Л.А. Новоселова, О.Т. Слободчикова, А.Ш. Сабитов ; под редакцией В.П. Царенко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 71, [1] с. : ил. Из содерж.: Районированные сорта: (Овощные культуры. С. 9-22); Сорта, находящиеся в государственном сортоиспытании: (Овощные культуры. С. 36-37).

84. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 501. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1988 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.А. Бурмистров, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Р.А. Оксузян, Ф.Т. Цангас, Е.И. Казакова, И.Г. Шмараев, М.Х.-М. Галаев, Т.Н. Кожанова, В.А. Полякова, Н.А. Ткаченко, Н.Д. Дульнева, И.И. Конюхова, Н.Д. Василенко, А.Э. Ниязов, М.А. Гриценко ; под редакцией С.Н. Бахаревой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 159, [1] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 147-155).

85. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 508[п]. Перец острый, мексиканский (*Capsicum annuum* L.) / составители: С.П. Дикий, Л.И. Студенцова, М.В. Воронина, Н.Н. Петровская ; под редакцией В.И. Буренина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 117, [3] с.

86. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 509[т]. Тыква : (Холодоустойчивость образцов на раннем этапе онтогенеза) / составители: Е.Н. Алексеева, Л.М. Юлдашева ; под редакцией Г.В. Удовенко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 22, [2] с.

87. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 510. Капуста : (Устойчивость образцов к болезням) / составители: Н.Н. Петровская, А.М. Симон, Т.И. Джохадзе, Э.А. Власова ; под редакцией В.И. Кривченко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 62, [3] с. : табл.

88. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 522. Томаты : (Оценка устойчивости к фузариозному и вертициллезному вилту, септориозу, ВТМ и кладоспориозу / составители: Э.А. Власова, И.Б. Гаранько, В.В. Фарбер, Т.И. Пугачева, А.М. Симон ; под редакцией В.И. Кривченко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 63, [1] с. : табл.

89. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 533. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1989 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, Т.Н. Кожанова, И.Г. Шмараев, М.Х. Галаев ; под редакцией С.Н. Бахаревой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 44, [2] с. : табл.

90. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 539. Салат : (Оценка устойчивости к ложной мучнистой росе, септорио-

зу, бактериозу, мучнистой росе) / составители: Э.А. Власова, Н.Н. Петровская, Р.А. Комарова, Л.И. Шашилова, Л. Бычкова ; под редакцией В.И. Кривченко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 95, [1] с. : табл.

91. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 540. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1989 г. / Л.А. Бурмистров, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, Т.Н. Кожанова, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Р.А. Оксузян, Ф.Т. Цангас, И.Г. Шмараев, М.Х.-М. Галаев, В.А. Полякова, Н.А. Ткаченко, Н.Д. Дульнева, И.И. Конюхова, Н.Д. Василенко, А.Э. Ниязов, М.А. Гриценко ; под редакцией С.Н. Бахаревой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 102, [2] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 89-99).

92. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 546. Капуста : (устойчивость образцов к болезням) / составители: А.М. Симон, Т.И. Джохадзе, А.М. Артемьева ; под редакцией В.И. Кривченко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 30 с. : табл.

93. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 556, ч. 2. Томаты : (Оценка устойчивости образцов к кладоспориозу) / составители: Э.А. Власова, И.Б. Гаранько, О.М. Дмитриева, И.А. Храпалова ; под редакцией В.И. Кривченко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 29, [1] с. : табл.

94. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 557. Столовая свекла / составители: В.И. Буренин, С.Г. Иванова, З.В. Тимошенко, В.В. Воскресенская, Т.М. Пискунова, Т.В. Хмелинская ; под редакцией В.И. Буренина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 50, [2] с. : табл.

95. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 562. Информация о внутрисоюзных и зарубежных экспедициях ВИР в 1981–1985 г. / составитель К.А. Кобылянская ; под редакцией С.Н. Бахаревой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 67, [1] с. : табл.

96. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 564. Кочанная капуста / составители: Т.Т. Джохадзе, А.М. Артемьева, Э.А. Барашкова, В.Н. Синельникова, Н.Н. Петровская ; под редакцией В.И. Буренина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 106, [2] с.

97. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 578. Томат : (Исходный материал для селекции на пригодность к механизированной уборке урожая) / составители: И.Б. Гаранько, О.М. Дмитриева, Л.Н. Попова, М.Е. Егинян, Л.Г. Калягина, Т.В. Столпникова, О.Д. Горяйнова, В.В. Сукачева ; под редакцией В.И. Буренина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 184 с.

98. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 580. Перец сладкий : (Характеристика образцов по жаростойкости) / составители: А.П. Ивакин, М.В. Воронина, И.А. Косарева, А.Н. Болгов, А.Г. Фролова ; под редакцией В.Н. Синельниковой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 21, [2] с. :табл.

99. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 586. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1990 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, Т.Н. Кожанова, И.Н. Делюкина, М.А. Гриценко ; под редакцией С.Н. Бахаревой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 63, [1] с. : табл.

100. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 609. Томат : (Комплексная устойчивость к абиотическим факторам, продуктивность и другие хозяйственно ценные признаки в условиях предгорной зоны Северного Кавказа) / составители: Э.А. Гончарова, Д.Г. Добренкова, А.Н. Лукьяненко ; под редакцией Э.А. Гончаровой, О.М. Дмитриевой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 18, [2] с. : табл.

101. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 612. Районированные и перспективные сорта и формы сельскохозяйственных культур для влажных субтропиков Закавказья / составители: Т.Х. Самоладас, А.Н. Фогель, Г.А. Хватыш, Л.А. Оксузян, Р.К. Карая, А.Г. Барганджия, Н.В. Канаева, Л.А. Гоголашвили, Э.Ш. Губаз, О.Г. Воронова, З.М. Отырба, Н.П. Лакоба, З.С. Харазия, Ю.М. Стефаниди, Р.И. Герия ; под редакцией Е.Ф. Петровой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 72, [6] с. + прил. (40 с. : ил.). Из содерж.: (Овощные культуры. С. 65-72).

102. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 614. Перец и баклажан : (Комплексная утойчивость образцов к засухе и высокой температуре) / составители: Э.А. Гончарова, М.В. Воронина, Г.К. Гати ; под редакцией Э.А. Гончаровой, О.М. Дмитриевой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 23, [1] с. : табл.

103. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 620[л]. Лук порей / составители: Л.С. Борисенкова, Т.И. Кирносова, В.А. Семенов ; под редакцией В.И. Буренина ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1992. 108, [2] с.

104. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 622. Капуста : (устойчивость образцов к фузариозному увяданию) / составители: : Э.Х. Суханбердина, Л.А. Катаржина ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1992. 19 с.

105. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 630. Тыква : (Холодоустойчивость образцов на раннем этапе онтогенеза) / составители: Е.Н. Алексеева, Л.М. Юлдашева, З.Ф. Карамнова ; под редакцией Г.В. Удовенко ; РАСХН, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1992. 20, [2] с.

106. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 655. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1989 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Л.А. Бурмистров, Н.М. Зотеева, С.Г. Иванова, С.В. Кузнецов, А.И. Танцюра, Ф.Т. Цангас, Н.А. Шестакова, Г.Т. Мезенцева, Т.А. Комарова, Н.Г. Галкина, В.Н. Омельченко, Н.Д. Василенко, В.А. Полякова, Н.Д. Дульнева, И.И. Конюхова, Н.В. Черкасова ; под редакцией: Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеевой ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1994. 92, [2] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 71-83).

107. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 675. Виды полезных растений России и других стран СНГ / составители: С.Н. Бахарева, Н.М. Зотеева, К.А. Кобылянская ; под редакцией: Л.Е. Горбатенко, С.Н. Бахаревой ; РАСХН, Всероссийский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1995. 262, [2] с. : табл.

108. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 676. Краткая характеристика новых забубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1993 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотеева, А.Н. Афонин, Н.Д. Василенко, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Г.Т. Мезенцева, М.А. Гриценко, Н.Н. Петровская, Н.И. Борисова, Н.Д. Дульнева, И.И. Конюхова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1995. 105, [3] с. (Экспресс-информация / ВИР). Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 92-105).

109. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 681. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1992–1994 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, А.Н. Афонин, И.О. Никифорова, Л.В. Ковалева, Е.А. Колюшева, Г.Т. Мезенцева ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Всероссийский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1996. 61, [1] с. : табл. Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 43-57).

110. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 682. Информация об экспедициях ВИР, проведенных на территории России, стран Ближнего и Дальнего зарубежья в 1986–1994 г. / составители: Н.М. Зотеева, Т.А. Комарова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Всероссийский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1995 [1996]. 65, [3] с. : табл.

111. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 687. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1996 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, А.Н. Афонин, Л.А. Бурмистров, Г.Т. Мезенцев, Л.В. Багмет, Н.В. Беглецова, Е.А. Колюшева ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1997. 38, [3] с. Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 26-27).

112. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 688. Краткая характеристика новых забубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1995 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Л.В. Багмет, И.О. Никифорова, А.Н. Афонин, С.Г. Иванова, Г.Т. Прокопенко, А.И. Танцюра, Ф.Т. Цангас, Н.Д. Василенко, Н.Д. Дульнева, И.И. Конюхова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1997. 44, [2] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 34-43).

113. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 690. Томат : Устойчивость образцов к увяданиям, септориозу, макроспорозу / составители: Н.Н. Петровская, О.М. Дмитриева, Т.В.Столпникова ; под редакцией В.И. Буренина ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 33, [3] с. : табл.

114. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 693. Лук порей (*Allium porrum* L.) : (Характеристика образцов по адаптивности, продуктивности, качеству урожая и лежкоспособности) / составители: Г.Т. Прокопенко, Э.А. Гончарова ; под редакцией А.В. Конарева, В.И. Буренина ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1998. 26, [2] с. : табл.

115. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 702. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1997 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Л.В. Багмет, В.Г. Фунтова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1999. 51, [1] с. : табл. Из содерж.: (Овощные. С. 33-44; Бахчевые. С. 44-47).

116. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 710. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1998 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Л.В. Багмет, В.Г. Фунтова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 39, [1] с. Из содерж.: (Овощные. С. 29-36; Бахчевые. С. 36-38).

117. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 713. Чабер : Характеристика образцов по комплексу хозяйственно ценных признаков и типизация / М.М. Гиренко, И.А. Белова, А.С. Бородкин, В.В. Пережогина, Н.С. Эммерих, В.В. Воскресенская ; под редакцией В.И. Буренина ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 36 с.

118. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 716. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1999 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Л.В. Багмет, В.Г. Фунтова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 54, [2] с. Из содерж.: (Овощные. С. 42-48; Бахчевые. С. 48-49).

119. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 725. Краткая характеристика новых забубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 1998 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, В.Г. Фунтова, Л.В. Багмет, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.Н. Петровская, Н.Д. Василенко, Т.Ф. Савченко, Е.В. Малиновская, Н.Д. Дульнева, И.И. Конюхова ; под ре-

дакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 40, [2] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 34-40).

120. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 732. Краткая характеристика новых забубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 2000 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, Л.В. Багмет, В.Г. Фунтова, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.Н. Петровская, Н.Д. Василенко, Т.Ф. Савченко, Е.В. Малиновская, Н.Д. Дульнева, И.И. Конюхова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2001. 46, [2] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 38-42).

121. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 740. Доноры и источники для селекции листовых овощных культур вида *Brassica rapa* L. (Пекинская, китайская и японская капусты, листовая репа) / составитель А.М. Артемьева ; под ред. В.И. Буренина ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 130, [4] с. : табл.

122. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 747. Морковь : (Характеристика образцов по биохимическим показателям и устойчивости к вредителям) / составители: А.Е. Соловьева, Л.В. Ермолаева, Т.В. Хмелинская ; под редакцией Е.Е. Радченко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 24, [2] с. : табл.

123. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 754. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 2001 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, В.Г. Фунтова, Т.М. Озерская ; под редакцией: Л.Е. Горбатенко, Т.Н. Смекаловой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 26, [2] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Овощные. С. 21-22).

124. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 755. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 2002 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, В.Г. Фунтова, Т.М. Озерская ; под редакцией: Л.Е. Горбатенко, Т.Н. Смекаловой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 26, [2] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР).

125. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 756. Капустные растения рода *Brassica* L.: (характеристика образцов по основным биохимическим показателям качества) / составители: А.Е. Соловьева, А.М. Артемьева, Н.А. Корчемная под редакцией А.В. Конарева ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 53, [3] с.

126. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 758. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 2002 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, В.Г. Фунтова, Т.М. Озерская, А.И. Танцюра, Н.Н. Петровская, Н.Д. Василенко, Н.Д. Дульнева, Т.И. Вальяникова, И.И. Конюхова ; под редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 37, [3] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Овощные и бахчевые культуры. С. 25-37).

127. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 765. Свекла столовая. Адаптивный потенциал коллекционных образцов / составители: В.И. Буренин, Т.М. Пискунова А.В. Емельянов, С.В. Буренин, З.С. Виноградов, А.А. Кущ, В.А. Лудилов, Л.Н. Евдокимова, М.И. Телеш, Ю.М. Козлова; под редакцией В.И. Буренина ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2005. 35, [1] с. : табл.

128. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 766. Дикие родичи культурных растений России / составители: Т.Н. Смекалова, И.Г. Чухина ; под редакцией Н.И. Дзюбенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2005. 53, [1] с. : табл.

129. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 779. Морковь : Источники основных хозяйственно-ценных признаков для селекции / составители: Т.В. Хмелинская, Л.В. Ермолаева, А.Е. Соловьева, С.Л. Вандышева ; под редакцией: В.И. Буренина, Е.Е. Радченко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2007. 46, [1] с. : табл.

130. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 791. Характеристика образцов свеклы в связи с задачами селекции на адаптивность : [Свекла столовая, кормовая, сахарная] / составители: В.И. Буренин, А.В. Емельянов, Т.М. Пискунова, О.В. Плющ, В.Е. Юдаева, С.В. Буренин, Д.В. Соколова ; под редакцией: В.И. Буренина ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2009. 38, [2] с. : табл.

131. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 800. Информация об экспедициях, проведенных в 1991–2009 гг. / составители: Т.М. Озерская, О.А. Лисовская ; под редакцией Н.И. Дзюбенко ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2010. 49, [1] с. : табл.

132. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 810. ДНК маркированные линии двойных гаплоидов *Brassica rapa* L. и идентифицированные QTL, контролирующие хозяйственно ценные признаки (морфологические, фенологические, биохимические, иммунологические) для использования в селекции листовых капустных культур = ДНК маркированные линии двойных гаплоидов *Brassica rapa* L. и идентифицированные QTL, контролирующие хозяйственно ценные признаки для использования в селекции листовых капустных культур / А.М. Артемьева, А.Е. Соловьева, Н.В. Кочерина,

Е.Н. Руднева, А.И. Волкова, Ю.В. Чесноков ; под редакцией Н.И. Дзюбенко ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2012. 173, [1] с. : табл., ил.

133. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 821. Род Лук (*Allium* L.) : продуктивность и устойчивость образцов разных видов рода лук к неблагоприятным факторам среды в условиях предгорной зоны республики Адыгея / составители: В.А. Семёнов, А.В. Любченко, Л.Г. Семёнова, И.А. Косарева ; под редакцией А.М. Артемьевой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2015. 20, [2] с. : табл.

134. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 830. Капуста : (устойчивость образцов к фузариозному увяданию) / Э.Х. Суханбердина ; под редакцией А.М. Артемьевой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2016. 27, [1] с. : табл.

135. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 831. Плодово-ягодные, овощные и полевые культуры : краткая характеристика образцов, выделенных по хозяйственно ценным признакам для южного региона России из коллекций филиала Майкопская опытная станция ВИР : (к 85-летию станции) = [Плодово-ягодные, овощные и полевые культуры : краткая характеристика образцов, выделенных из коллекций Майкопской опытной станции ВИР по ряду хозяйственно ценных признаков для южного региона России : (к 85-летию станции)] / составитель коллектив сотрудников филиала Майкопская опытная станция ВИР: [В.М. Кочетков, О.Н. Барсукова, И.А. Бандурко, В.А. Котов, Т.И. Демченко, Л.Г. Семенова, Е.А. Добренков, М.В. Назаренко, С.А. Слепков, О.В. Плющ, Т.Т. Агеева, В.А. Семенов, Л.В. Якимцова, Т.С. Винцунас, М.Н. Горковенко, А.А. Ясько, И.В. Носенко, С.Н. Котова, И.В. Филь, И.А. Алексеева, Т.С. Горковенко, Е.Н. Сулина] ; под научной редакцией: В.А. Семенова, Л.Г. Семеновой ; под общей редакцией Н.И. Дзюбенко ; Федеральное агентство научных организаций, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Филиал Майкопская опытная станция. Санкт-Петербург : ВИР, 2016. 85, [1] с. Из содерж.: (Овощные культуры. С. 48-66).

136. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 832. Дикие родичи культурных растений России : Северо-Западный федеральный округ Российской Федерации : (Мурманская область, Республика Карелия, Ленинградская область, Псковская область, Новгородская область Архангельская область, Республика Коми) / Л.Ю. Шипилина, М.А. Жук ; под редакцией Т.Н. Смекаловой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2016. 101, [1] с. : карт.

137. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 838. Брюква / В.И. Буренин, Д.В. Соколова ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2017. 27, [1] с. : табл.

138. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 849. Чеснок в условиях Центрального Черноземья и Нечерноземной зоны России / В.В. Шумилина, Т.М. Середин, Н.А. Досягаева, Т.В. Кирпичева ; под научной редакцией В.И. Буренина ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2017. 95, [1] с. : табл.

139. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 850. Капуста : Источники селекционно-ценных признаков капустных культур вида *Brassica rapa* L. (пекинская, китайская, розеточная, пурпурная, японская капусты и брокколетто) / А.М. Артемьева, С.С. Абремская ; под научной редакцией В.И. Буренина, А.М. Артемьевой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2017. 83, [1] с. : табл.

140. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 857. Местные сорта овощных и бахчевых культур : (капуста, морковь, редис, редька, перец, огурец, баклажан, тыква, арбуз) / А.М. Артемьева, И.В. Гашкова, Т.М. Пискунова, Т.В. Хмелинская, А.Е. Соловьева, Т.В. Шеленга, Л.В. Ермолаева, З.Ф. Мутьева, Т.В. Литвинова, Т.В. Стрижак, А.А. Тайпакова, А.Б. Курина ; под научной редакцией В.И. Буренина ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2018. 75, [1] с.

141. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 862. Огурец : исходный материал для селекции на урожайность и устойчивость к пероноспорозу / Э.Х. Суханбердина, Т.М. Пискунова ; под научной редакцией А.М. Артемьевой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2018. 31, [1] с. : табл.

142. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 872. Капуста : Комплексная биохимическая характеристика капустных культур вида капуста огородная *Brassica oleracea* L. : (разновидности белокочанная, цветная, трончуда) / А.М. Артемьева, А.Е. Соловьева, Т.В. Шеленга ; под научной редакцией А.В. Конарева ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2018. 83, [1] с. : табл.

143. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 873. Репа. *Brassica rapa* L. : Источники ценных признаков / А.М. Артемьева, Д.Л. Корнюхин ; под научной редакцией Т.М. Пискуновой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2018. 69, [1] с. : табл.

144. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 878. Редис (*Raphanus sativus* L.) : характеристика образцов по морфологическим, биологическим и хозяйственно ценным признакам при выращивании в защищенном и открытом грунте / А.Б. Курина, Т.В. Хмелинская ; под научной редакцией А.М. Артемьевой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2018. 69, [1] с. : табл.

145. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 881. Морковь (*Daucus carota* L.): Характеристика образцов по морфологическим, биологическим и хозяйственно ценным признакам при выращивании в условиях Волго-Ахтубинской пой-

мы / В.Е. Прянишникова, Т.В. Хмелинская ; под научной редакцией А.М. Артемьевой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 71, [1] с.

146. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 893. Цветная, брокколи, белоцветковая : (комплексная оценка по селекционно ценным признакам) / А.М. Артемьева, А.Е. Соловьева, Д.А. Фатеев ; под научной редакцией Т.М. Пискуновой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 103 с. : табл.

147. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 894. Тыква : Исходный материал для селекции на раннеспелость, урожайность и качество продукции / Т.М. Пискунова, З.Ф. Мутьева ; под научной редакцией А.М. Артемьевой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 55, [1] с. : табл.

148. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 898. Перец сладкий (*Capsicum annuum* L.) / И.В. Гашкова ; под научной редакцией А.М. Артемьевой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 51, [1] с.

149. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 901. Дикие родичи культурных растений России. Северо-Кавказский федеральный округ. Карачаево-Черкесская Республика = Crop wild relatives of Russia. North Caucasian Federal District. Karachay-Cherkess Republic / Л.С. Багмет ; под научной редакцией Д.С. Шильникова ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 59, [1] с. : табл., цв. ил.

150. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 908. Капуста цветная и брокколи в условиях северных сухих субтропиков Южного Дагестана / Е.Г. Гаджимустапаева ; под научной редакцией А.М. Артемьевой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 35, [1] с. : табл., цв. ил.

151. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 926. Редька (*Raphanus sativus* L.) : характеристика образцов по морфологическим, биологическим и хозяйственно ценным признакам при разных сроках выращивания / А.Б. Курина ; под научной редакцией А.М. Артемьевой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2020. 68 с. : табл.

152. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 927, ч. 1. Томат съедобный розовоплодный (*Lycopersicon esculentum* Mill. convar. *esculentum* var. *roseum* Khrap.) : исходный материал для селекции / И.А. Храпалова ; под научной редакцией М.А. Вишняковой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2020. 64 с.

153. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 928. Тыква : Биохимический состав образцов тыквы коллекции ВИР / Т.М. Пискунова, А.Е. Соловьева, З.Ф. Мутьева ; под научной редакцией Т.В. Шеленга ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2021. 124 с. : табл.

154. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 937. Цветная капуста: источники ценных признаков для селекции в зоне сухих субтропиков / Е.Г. Гаджимустапаева ; под научной редакцией А.М. Артемьевой ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2022. 126 с.

155. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 838. Брюква / В.И. Буренин, Д.В. Соколова ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2017. 27 с.

156. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 943. Информация об экспедициях ВИР, проведенных в 2010–2020 гг. / Т.М. Озерская, С.В. Шувалов ; под редакцией Л.В. Багмет ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2023. 58 с.

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР)

Конференция «ВИР – 130: Генетические ресурсы растений»

(к 130-летию со дня учреждения Бюро по прикладной ботанике при Ученом комитете Министерства земледелия и государственных имуществ Российской Империи)

5–9 ноября 2024 года, Санкт-Петербург

С 5 по 9 ноября 2024 г. в Санкт-Петербурге пройдет Конференция «ВИР – 130: Генетические ресурсы растений», приуроченная к 130-летию с даты учреждения Бюро по прикладной ботанике при Ученом комитете Министерства земледелия и государственных имуществ Российской Империи. Конференция организуется Федеральным исследовательским центром Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), который ведет свою историю от Бюро по прикладной ботанике, созданного 27 октября (8 ноября по новому стилю) 1894 года.

Конференция «ВИР – 130: Генетические ресурсы растений» организуется в рамках реализации Национального проекта «Науки и университеты» и мероприятий «Десятилетия науки и технологий в Российской Федерации».

Конференция будет посвящена современным вопросам сохранения генетических ресурсов культурных растений и их диких родичей *ex situ* и *in situ*, их изучения и использования для обеспечения продовольственной безопасности и технологического развития страны. Задача Конференции – осветить всю широту современных направлений работы с коллекциями генетических ресурсов растений и их применения в фундаментальной науке, медицине, сельском хозяйстве, промышленности.

Председатель Программного и Организационного комитета конференции: директор ВИР, профессор РАН Е.К. Хлесткина.

Место проведения: Россия, Санкт-Петербург, ВИР.

Источник: http://www.vir.nw.ru/blog/2024/03/19/konferentsiya-vir-130-geneticheskie-resursy-rastenij-5-9-noyabrya-2024-goda-sankt-peterburg/

**Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции /
Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding**

**Научный рецензируемый журнал /
Scientific Peer-Reviewed Journal**

ISSN 2227-8834 (Print); ISSN 2619-0982 (Online)
4 выпуска в год (ежеквартально) / Publication frequency: quarterly
https://elpub.vir.nw.ru; e-mail: **trudyVIR@vir.nw.ru**

Языки: русский, английский / Languages: Russian, English
Индексируется в РИНЦ (НЭБ), Scopus, RSCI, DOAJ, AGRIS, входит в перечень изданий, публикации которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ) при защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук / Indexed/abstracted by the Russian Science Citation Index on eLIBRARY.RU platform, Scopus, Russian Science Citation Index (RSCI) on the Web of Science platform, DOAJ, AGRIS, included in the list of publications recognized by the Russian Higher Attestation Commission (VAK RF) when candidate and doctoral dissertations are defended.

Открытый доступ к полным текстам / Open access to full texts
https://elpub.vir.nw.ru
http://www.vir.nw.ru/trudy
https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=27909

Требования к статьям и правила рецензирования, электронный архив в открытом доступе и иная дополнительная информация размещены на сайте журнала **https://elpub.vir.nw.ru** / Full information for authors, reviewers, and readers (open access to electronic versions and subscription to print editions) can be found at **https://elpub.vir.nw.ru**

Прием статей через электронную редакцию на сайте журнала **https://elpub.vir.nw.ru**.
Предварительно необходимо зарегистрироваться как автору, затем в правом верхнем углу страницы выбрать «Отправить рукопись». После завершения загрузки материалов обязательно выбрать опцию «Отправить письмо», в этом случае редакция автоматически будет уведомлена о получении новой рукописи / Manuscripts are accepted via the online editing resource at the Journal's website **https://elpub.vir.nw.ru**. The sender needs to register as the author and select in the upper righthand corner "Send a manuscript". After the loading of the materials, the option "Send a letter" is to be chosen, so that the editors would be automatically informed that a new manuscript has been received.

Научный редактор: *Е.А. Соколова*
Корректура: *А.Г. Крылов*
Компьютерная верстка: *А.В. Иванов*

Адрес редакции:
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42
Тел.: (812) 314-49-14; e-mail: trudyVIR@vir.nw.ru; i.kotielkina@vir.nw.ru

Почтовый адрес редакции
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42, 44

Подписано в печать 23.09.2024. Формат 70×100 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ. л. 34,75. Тираж 100 экз. Заказ № 383/1.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР),
редакционно-издательский сектор ВИР

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42

Индивидуальный предприниматель Юшкевич Галина Викторовна
192286, Санкт-Петербург, Альпийский пер., д. 45