

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

**ТРУДЫ
ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ,
ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ, том 184
выпуск 1**

(основаны Р. Э. Регелем в 1908 г.)

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2023**

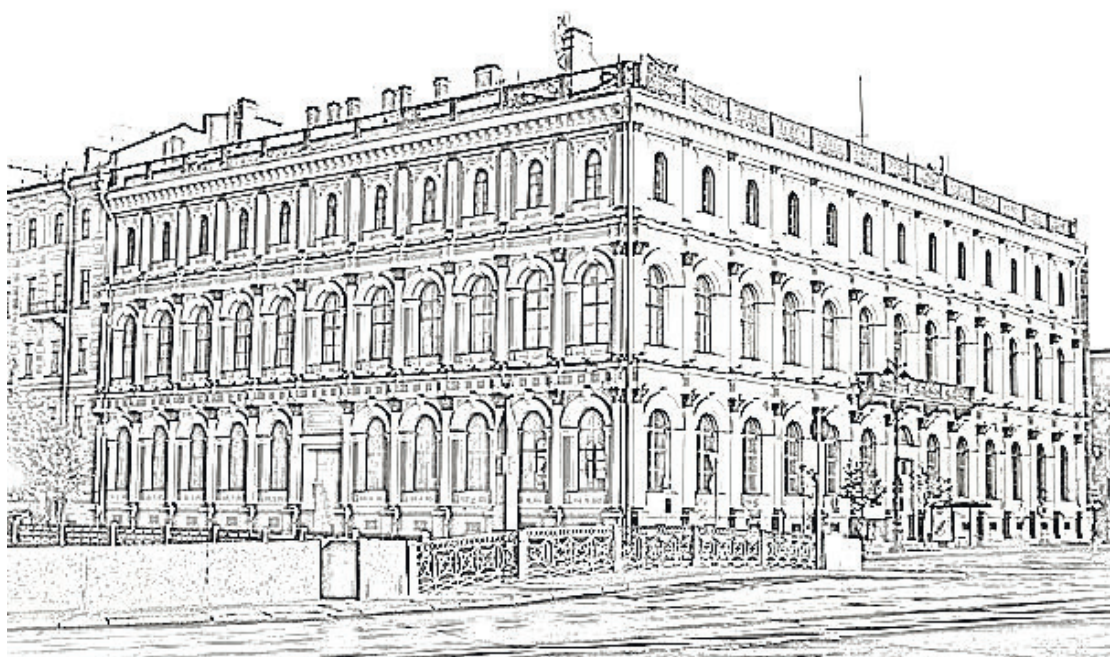
**PROCEEDINGS
ON APPLIED BOTANY, GENETICS
AND BREEDING, vol. 184
issue 1**

(founded by Robert Regel in 1908)

**ST. PETERSBURG
2023**

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)





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 Миленьевна, д-р с.-х. наук (Россия)

Добровольская Оксана Борисовна, д-р биол. наук (Россия)

Дорофеев Владимир Иванович, д-р биол. наук (Россия)

Зотеева Надежда Мубаровна, д-р биол. 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)

Турусбеков 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)

Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding

2023 Volume 184 issue 1

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1
<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. Dobrovol'skaya, Dr. Sci. (Biology), Russia

Vladimir I. Dorofeev, 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. Porokhovina, 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

Erlan K. Turuspekov, Cand. Sci. (Biology), Professor, Kazakhstan

Yulia V. Ukhatova, Cand. Sci. (Biology), Russia

Nadezhda M. Zoteeva, Cand. Sci. (Biology), 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. Beshpalova, 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

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, 2023. Т. 184, вып. 1. 266 с.

Оценено влияние криоконсервации в жидком азоте на жизнеспособность семян льна. Подтверждено селекционное улучшение яровой шарозерной пшеницы *Triticum sphaerococcum* Percival в условиях Средневолжского региона. Рассмотрено влияние погодных условий на сезонный ритм развития растений бархата амурского (*Phellodendron amurense* Rupr.) в условиях лесостепи Приобья. Определен минеральный состав зерна линий мягкой пшеницы с интрогрессиями чужеродного генетического материала. Исследован комплекс биологически активных веществ в плодах перспективных сортов жимолости голубой (*Lonicera caerulea* L.). Прослежено влияние азотных, фосфорных и калийных удобрений на рост и урожайность *Taraxacum kok-saghyz* Rodin. Дана оценка исходного материала для селекции ячменя пивоваренного направления. Отобраны адаптивные сорта яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) для испытания в производстве в условиях Приморского края. Изучена фенотипическая изменчивость образцов *Linum usitatissimum* L. в условиях Северного Зауралья. Проведен сравнительный анализ каротиноидов и каротинов в плодах *Cucurbita* spp. в условиях Северо-Запада России. Проанализирована изменчивость некоторых технологических и биохимических признаков качества марокканских тетраплоидных культурных линий овса *Avena murphyi* Ladiz. Рассмотрена возможность предсказания влияния аллельного полиморфизма 3'-нетранслируемой области гена *StTCP23* на толерантность сортов картофеля к вирусу веретеновидности клубней. Обсуждается фенотипическая стабильность регенерантных линий яровой мягкой пшеницы. Создан первый российский сорт хлопчатника 'Браун' с природно-окрашенным волокном. Выявлено молекулярно-генетическое разнообразие сортов льна (*Linum usitatissimum* L.), представленных в Госреестре селекционных достижений Российской Федерации. Проведен анализ устойчивости к стеблевой ржавчине и идентификация *Sr*-генов у интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы. Идентифицированы локусы *Rpv3* и *Rpv12* в потомках сорта винограда 'Талисман'. Предложены маркеры для ранней диагностики низкого содержания танинов в семенах бобов конских (*Vicia faba* L.). Установлены эффективные источники устойчивости яровой мягкой пшеницы к мучнистой росе для северо-запада России. Методом корневого теста выделены генотипы дикого ячменя (*Hordeum spontaneum* K. Koch), устойчивые к токсичным ионам алюминия. Приведена информация по истории возделывания, систематике рода *Avena* L. (Овес) и направлениям селекции культуры на основе коллекции генетических ресурсов ВИР. Обсуждается сохранение биоразнообразия растений методами биотехнологии в Республике Казахстан. Опубликованы: краткое сообщение к 75-летию юбилею старейшего сотрудника ВИР А. В. Конарева, а также «Выборочный список "Каталогов мировой коллекции ВИР" по зерновым культурам: овес, рожь и ячмень за 1964–2021 гг.».

Для ресурсосведов, 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, 2023

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, 2023. Vol. 184, iss. 1. 266 p.

The effect of cryopreservation in liquid nitrogen on the viability of flax seeds has been assessed. Improvement of spring Indian dwarf wheat *Triticum sphaerococcum* Percival through breeding has been ascertained under the conditions of the Middle Volga Region. The effect of weather conditions on the seasonal plant development rhythm has been considered for Amur cork tree (*Phellodendron amurense* Rupr.) in the forest-steppe of the Ob region. Mineral composition has been clarified for bread wheat lines with introgressions of alien genetic material. A complex of bioactive compounds has been studied in the fruits of promising blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) cultivars. Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium base fertilizers on growth and yield of *Taraxacum kok-saghyz* Rodin have been analyzed. Source material for malted barley breeding has been evaluated. Cultivars of spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) have been selected for their adaptive potential for trials in the environments of Primorsky Territory. Phenotypic variability of *Linum usitatissimum* L. accessions has been studied under the conditions of the Northern Trans-Urals. A comparative analysis of carotenoids and carotenes in the fruits of *Cucurbita* spp. has been carried out under the conditions of Northwestern Russia. Moroccan domesticated tetraploid oat lines of *Avena murphyi* Ladiz. have been analyzed to disclose variation of some physical and chemical quality traits. Predictability of the influence of allelic polymorphism in the 3' untranslated region of the *StTCP23* gene on the tolerance of potato cultivars to the potato spindle tuber viroid has been examined. Phenotypic stability of spring bread wheat regenerative lines is discussed. The first Russian cotton cultivar with naturally colored fiber, 'Braun', has been released. Molecular genetic diversity has been revealed in flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.) represented in the State Register for Selection Achievements of the Russian Federation. Resistance to stem rust has been analyzed and *Sr* genes have been identified in introgressive lines of spring bread wheat. *Rpv3* and *Rpv12* loci have been identified in the progenies of the 'Talisman' grape cultivar. Markers are proposed for early diagnostics of low tannin content in faba bean seeds (*Vicia faba* L.). Effective sources of powdery mildew resistance have been found in spring bread wheat under the northwestern conditions of Russia. The root test has been used to identify wild barley (*Hordeum spontaneum* K. Koch) genotypes resistant to toxic aluminum ions. The history of cultivation and taxonomy of *Avena* L. (oats) and breeding trends are presented on the basis of the collection of oat genetic resources held by VIR. Conservation of plant biodiversity by biotechnology methods in the Republic of Kazakhstan is discussed. A brief report celebrating the 75th birthday of Alexey V. Konarev, one of the eldest staff members of VIR, and a selective list of the Catalogues of the VIR Global Collection of cereal crops: oat, rye, and barley, for 1964–2021 are published.

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, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

МОБИЛИЗАЦИЯ И СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Павлов Ан.В., Пороховинова Е.А., Брач Н.Б., Павлов Ал.В., Вержук В.Г. Биологическое разнообразие и селекционное использование восточноазиатских видов яблони	9
---	---

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Асхадуллин Дам.Ф., Асхадуллин Дан.Ф., Василова Н.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И., Гайфуллина Г.Р., Кириллова Е.С., Лысенко Н.С. Селекционное улучшение яровой шарозерной пшеницы <i>Triticum sphaerococcum</i> Percival в условиях Средневолжского региона.	21
Лихенко Н.Н., Капко Т.Н., Епанчинцева А.П., Лихенко И.Е. Влияние погодных условий на сезонный ритм развития растений бархата амурского (<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.) в условиях лесостепи Приобья.....	33
Орловская О.А., Вакула С.И., Хотылева Л.В., Кильчевский А.В. Минеральный состав зерна линий мягкой пшеницы с интрогрессиями чужеродного генетического материала.....	42
Перова И.Б., Эллер К.И., Герасимов М.А., Батурина В.А., Акимов М.Ю., Акимова О.М., Миронов А.М., Кольцов В.А. Исследование комплекса биологически активных веществ в плодах перспективных сортов жимолости голубой (<i>Lonicera caerulea</i> L.).....	53
Чжан В., Чжэн Ф., Вэй Д., Шен Г., Цзэн С., Конькова Н.Г. Влияние азотных, фосфорных и калийных удобрений на рост и урожайность <i>Taraxacum kok-saghyz</i> Rodin	70
Юсова О.А., Николаев П.Н., Кузьмич М.А., Кузьмич Л.С. Оценка исходного материала для селекции ячменя пивоваренного направления	79

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Богдан П.М., Клыков А.Г., Коновалова И.В., Кузьменко Н.В. Адаптивный потенциал яровой твердой пшеницы (<i>Triticum durum</i> Desf.) в условиях Приморского края	90
Королев К.П., Боме Н.А., Колоколова Н.Н. Фенотипическая изменчивость образцов <i>Linum usitatissimum</i> L. в условиях Северного Зауралья.....	102
Пискунова Т.М., Шеленга Т.В., Озерский П.В., Соловьева А.Е. Каротиноиды и каротины в плодах <i>Cucurbita maxima</i> , <i>C. moschata</i> и <i>C. pepo</i> в условиях Северо-Запада России	118

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Манзали Р., Буксаим М., Дуаик А., Ладизинский Г., Саиди Н. Изменчивость некоторых технологических и биохимических признаков качества марокканских тетраплоидных культурных линий овса <i>Avena murphyi</i> Ladiz	128
Мироненко Н.В., Кочетов А.В., Афанасенко О.С. Влияние аллельного полиморфизма 3'-нетранслируемой области гена <i>StTCP23</i> на толерантность сортов картофеля к вирусу веретеновидности клубней	137

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Ступко В.Ю., Сидоров А.В. Фенотипическая стабильность регенерантных линий яровой мягкой пшеницы	144
Туз Р.К., Асфандиярова М.Ш., Подольная Л.П. 'Браун' – первый российский сорт хлопчатника с природно-окрашенным волокном	154

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

Базанов Т.А., Ущаповский И.В., Логинова Н.Н., Смирнова Е.В., Михайлова П.Д. Молекулярно-генетическое разнообразие сортов льна (<i>Linum usitatissimum</i> L.), представленных в Госреестре селекционных достижений Российской Федерации.	163
Баранова О.А., Сибикеев С.Н., Конькова Э.А. Анализ устойчивости к стеблевой ржавчине и идентификация <i>Sr</i> -генов у интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы	177
Ильницкая Е.Т., Макаркина М.В., Козина Т.Д., Кожевников Е.А., Петров В.С. Идентификация локусов <i>Rpv3</i> и <i>Rpv12</i> в потомках сорта винограда 'Талисман'	187
Мамедова С.М., Попов В.С., Соловьева А.Е., Перчук И.Н., Малышев Л.Л., Вишнякова М.А. К вопросу о ранней диагностике низкого содержания танинов в семенах бобов конских (<i>Vicia faba</i> L.)	194

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Лебедева Т.В., Брыкова А.Н., Зуев Е.В. Эффективные источники устойчивости яровой мягкой пшеницы к мучнистой росе для северо-запада России	205
Яковлева О.В. Генетическое разнообразие дикого ячменя (<i>Hordeum spontaneum</i> K. Koch) по устойчивости к токсичным ионам алюминия	215

ОБЗОРЫ

Лоскутов И.Г., Блинова Е.В., Гнутиков А.А. Коллекция генетических ресурсов овса ВИР как источник информации по истории возделывания, систематике рода и направлениям селекции культуры (обзор)	225
Ромаданова Н.В., Кушнарченко С.В. Сохранение биоразнообразия растений методами биотехнологии	239

ИСТОРИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВИР. СЛАВНЫЕ ИМЕНА

Шеленга Т.В., Керв Ю.А., Перчук И.Н., Попов В.С., Соловьева А.Е., Хорева В.И., Хлесткина Е.К. Конарев Алексей Васильевич (к 75-летию со дня рождения)	249
Выборочный список «Каталогов мировой коллекции ВИР» по зерновым культурам: овес, рожь и ячмень за 1964–2021 гг.	255

CONTENTS

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

Pavlov An.V., Porokhovinova E.A., Brutch N.B., Pavlov Al.V., Verzhuk V.G. The effect of cryopreservation in liquid nitrogen on the viability of flax seeds.	9
--	---

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Askhadullin Dam.F., Askhadullin Dan.F., Vasilova N.Z., Tazutdinova M.R., Khusainova I.I., Gayfullina G.R., Kirillova E.S., Lysenko N.S. Breeding improvement of spring Indian dwarf wheat <i>Triticum sphaerococcum</i> Percival under the conditions of the Middle Volga Region	21
Likhenko N.N., Kapko T.N., Epanchintseva A.P., Likhenko I.E. The effect of weather conditions on the seasonal rhythm of plant development of Amur cork tree (<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.) in the forest-steppe of the Ob region.....	33
Orlovskaya O.A., Vakula S.I., Khotyleva L.V., Kilchevsky A.V. Mineral composition of bread wheat lines with introgressions of alien genetic material.....	42
Perova I.B., Eller K.I., Gerasimov M.A., Baturina V.A., Akimov M.Yu., Akimova O.M., Mironov A.M., Koltsov V.A. A study of a complex of bioactive compounds in the fruits of promising blue honeysuckle (<i>Lonicera caerulea</i> L.) cultivars.....	53
Zhang W., Zheng F. Wei D., Shen G., Zeng X., Kon'kova N.G. Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium base fertilizers on growth and yield of <i>Taraxacum kok-saghyz</i> Rodin	70
Yusova O.A., Nikolaev P.N., Kuzmich M.A., Kuzmich L.S. Assessment of source material for malting barley breeding	79

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

Bogdan P.M., Klykov A.G., Konovalova I.V., Kuzmenko N.V. Adaptive potential of spring durum wheat (<i>Triticum durum</i> Desf.) under the conditions of Primorsky Territory	90
Korolev K.P., Bome N.A., Kolokolova N.N. Phenotypic variability of <i>Linum usitatissimum</i> L. accessions under the conditions of the Northern Trans-Urals	102
Piskunova T.M., Shelenga T.V., Ozersky P.V., Solovyeva A.E. Carotenoids and carotenes in the fruits of <i>Cucurbita maxima</i> , <i>C. moschata</i> and <i>C. pepo</i> under the conditions of Northwestern Russia	118

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Manzali R., Bouksaim M., Douaik A., Ladizinsky G., Saidi N. Variation of some physical and chemical quality traits of Moroccan domesticated tetraploid oat lines of <i>Avena murphyi</i> Ladiz	128
Mironenko N.V., Kochetov A.V., Afanasenko O.S. Influence of allelic polymorphism in the 3' untranslated region of the <i>StTCP23</i> gene on the tolerance of potato cultivars to the potato spindle tuber viroid.....	137

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Stupko V.Yu., Sidorov A.V. Phenotypic stability of spring bread wheat regenerant lines.....	144
Tuz R.K., Asfandiirarova M.Sh., Podolnaya L.P. 'Braun': the first Russian cotton cultivar with naturally colored fiber	154

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

Bazanov T.A., Uschapovsky I.V., Loginova N.N., Smirnova E.V., Mikhailova P.D. Molecular genetic diversity of flax cultivars (<i>Linum usitatissimum</i> L.) represented in the State Register for Selection Achievements of the Russian Federation).....	163
Baranova O.A., Sibikeev S.N., Konkova E.A. Analysis of resistance to stem rust and identification of Sr genes in introgressive lines of spring bread wheat.....	177
Ilitskaya E.T., Makarkina M.V., Kozina T.D., Kozhevnikov E.A., Petrov V.S. Identification of <i>Rpv3</i> and <i>Rpv12</i> loci in the progenies of the 'Talisman' grape cultivar.....	187
Mamedova S. M., Popov V.S., Solovyeva A.E., Perchuk I.N., Malyshev L.L., Vishnyakova M.A. Concerning the issue of early diagnostics of low tannin content in faba bean seeds (<i>Vicia faba</i> L.).....	194

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Lebedeva T.V., Brykova A.N., Zuev E.V. Effective sources of powdery mildew resistance among spring bread wheat for the northwest of the Russian Federation	205
Yakovleva O.V. Genetic diversity of wild barley (<i>Hordeum spontaneum</i> K. Koch) in the context of resistance to toxic aluminum ions	215

SURVEYS

Loskutov I.G., Blinova E.V., Gnutikov A.A. The collection of oat genetic resources held by VIR as a source of information on the history of cultivation and taxonomy of the genus, and breeding trends (a review).....	225
Romadanova N.V., Kushnarenko S.V. Conservation of plant biodiversity by biotechnology methods	239

HISTORY OF AGROBIOLOGICAL RESEARCH AND VIR. NAMES OF RENOWN

Shelenga T.V., Kerv Yu.A., Perchuk I.N., Popov V.S. Solovyeva A.E., Khoreva V.I., Khlestkina E.K. Prof. Alexey V. Konarev (celebrating the 75th birthday)	249
Selective list of the Catalogues of the VIR Global Collection of cereal crops: oat, rye, and barley, for 1964–2021.....	255

МОБИЛИЗАЦИЯ И СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 633.52:57.086.13

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-9-20



Влияние криоконсервации в жидком азоте на жизнеспособность семян льна

Ан. В. Павлов, Е. А. Пороховинова, Н. Б. Брач, Ал. В. Павлов, В. Г. Вержук

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

Автор, ответственный за переписку: Елизавета Александровна Пороховинова, e.porohovnova@vir.nw.ru

Актуальность. Криоконсервация семян в жидком азоте – перспективный метод сохранения генетических ресурсов. Отсутствие методов криоконсервации семян льна делают данную работу актуальной.

Материалы и методы. В работе использованы семена льна-долгунца 'Оршанский 2'. Эксперимент проведен в 2-кратной повторности, каждая из которых включала в себя 6 вариантов. В 1 и 2 вариантах семена хранили в бумажных пакетах при комнатной температуре (1 – контроль, семена без обработки; 2 – обработанные биоразрушаемым полимером 3-гидроксимасляной кислоты [П(ЗГБ)]). В вариантах 3–6 семена хранили в жидком азоте без обработки и с обработкой П(ЗГБ) (в 3, 4 – в марлевой упаковке, в 5, 6 – в ламинированных пакетах из фольги). Оценку влияния действия азота и типов хранения проводили в три этапа: (I) сразу после выемки – энергия прорастания и всхожесть, (II) полевая всхожесть, (III) через 6 месяцев хранения при комнатной температуре – энергия прорастания и всхожесть.

Результаты. Лабораторная энергия прорастания и всхожесть семян в контроле составили 99%, а полевая всхожесть – 83%. Наименьшая энергия прорастания, лабораторная и полевая всхожесть отмечены после хранения в ламинированных пакетах без обработки П(ЗГБ): вариант 5 этап II (79%), вариант 5 этап III (74%) и с обработкой П(ЗГБ): вариант 6 этап II (78%) вариант 6 этап III (82%). Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что жидкий азот оказал достоверное отрицательное, но не критическое влияние на лабораторную энергию прорастания, полевую всхожесть, а также лабораторную энергию прорастания, всхожесть после выемки и 6 месяцев хранения при комнатной температуре, с долей влияния 42, 11, 31, 24% соответственно. Обработка Р(ЗНВ) не оказала существенного влияния ни на один из вариантов эксперимента с его использованием.

Заключение. При хранении в разных видах упаковки, можно использовать любой из опробованных способов заморозки, что значительно облегчает и удешевляет криоконсервацию льна.

Ключевые слова: лен-долгунец, энергия прорастания, всхожесть, сверхнизкие температуры, полимер 3-гидроксимасляной кислоты П(ЗГБ)

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 признательны профессору Т. Г. Воловой (Институт биофизики СО РАН, Красноярск, Россия) за предоставленные образцы полимера П(ЗГБ).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Павлов Ан.В., Пороховинова Е.А., Брач Н.Б., Павлов Ал.В., Вержук В.Г. Влияние криоконсервации в жидком азоте на жизнеспособность семян льна. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):9-20. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-9-20

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-9-20

The effect of cryopreservation in liquid nitrogen on the viability of flax seeds

Andrey V. Pavlov, Elizaveta A. Porokhovinova, Nina B. Brutch, Aleksandr V. Pavlov, Vladimir G. Verzhuk

*N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia***Corresponding author:** Elizaveta A. Porokhovinova, e.porokhovinova@vir.nw.ru

Background. A promising technique for preserving plant genetic resources is cryopreservation of seeds in liquid nitrogen at -196°C . The lack of information on cryopreservation of flax seeds and on the effect of liquid nitrogen on their viability makes this work relevant for the conservation of valuable flax germplasm.

Materials and methods. Seeds of the fiber flax cultivar 'Orshansky 2' were used in the experiment. The experiment was carried out in 2 replications; each of them included 6 options. In options 1 and 2, the seeds were stored in paper bags at room temperature (1 – control, seeds without treatment; 2 – treated with a biodegradable polymer of 3-hydroxybutyric acid [P(3HB)]). In options 3, 4, 5 and 6, the seeds were stored in liquid nitrogen without treatment and with P(3HB) treatment (in 3 and 4 in gauze packaging, and in 5 and 6 in laminated foil bags).

Results. Laboratory-based germination energy and viability of control seeds were the same in all options of the experiment (99%), and field viability averaged 83%. The lowest germination energy, laboratory-based and field germination capacity were observed after storage in laminated bags, without P(3HB) processing: option 5, stage II (79%); option 5, stage III (74%), and with P(3HB): processing: option 6, stage II (78%); option 6, stage III (82%). A two-factor analysis of variance showed that liquid nitrogen had significant effect on laboratory germination energy, field germination capacity, laboratory germination energy and capacity after 6 months of storage at room temperature: the effect size was 42, 11, 31, and 24%, respectively, while treatment with P(3HB) had no significant effect on any of the options of the experiment with its application.

Conclusion. Flax seeds tolerated direct immersion in liquid nitrogen ($t = -196^{\circ}\text{C}$) best of all in gauze packaging. The biodegradable polymer P(3HB) did not produce a significant effect on seed viability in any option.

Keywords: fiber flax, seed storage, ultralow temperatures, laboratory germination energy and capacity, field germination energy and capacity, biodegradable polymer Hydroxybutyric acid P(3HB)

Acknowledgements: The research was performed 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 are grateful to Prof. T. G. Volova (Institute of Biophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia) for making available samples of the P(3HB) polymer.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Pavlov An.V., Porokhovinova E.A., Brutch N.B., Pavlov Al.V., Verzhuk V.G. The effect of cryopreservation in liquid nitrogen on the viability of flax seeds. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):9-20. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-9-20

Введение

В последние годы происходит беспрецедентно быстрая утрата биоразнообразия. Многие виды растений и животных находятся на грани полного исчезновения, а это чревато дефицитом продовольствия в будущем, ухудшением здоровья населения планеты (United Nations..., 2019, FAO Commission on Genetic Resources..., 2019). В связи с этим все большую актуальность приобретают задачи сохранения не только редких и исчезающих видов, но и ценных сортов, клонов и гибридов культивируемых лекарственных, декоративных, сельскохозяйственных растений и их диких родичей.

Для сохранения биоразнообразия сельскохозяйственных культур, в числе многих других предпринятых мер, создана коллекция генетических ресурсов растений ВИР (коллекция ГРП ВИР) – систематизированное и документированное собрание образцов семян и гербарных референтов мирового разнообразия культивируемых растений и их диких родичей, с системой хранения при низких (+4°C, -10°C, -18°C) температурах (Filipenko, 2007). Также осуществляется хранение коллекций семян с использованием ресурса холода вечной мерзлоты при -6...-10°C (Zhimulev, 2014).

В связи с необходимостью увеличения сроков сохранения генетических ресурсов в ВИР начиная с 1967 года проводились исследования по выяснению возможности хранения семян при сверхнизких температурах (-183...-196°C) в жидком азоте (Fedosenko, 1978; Molodkin, 1986; Safina, Petrova, 2008). Исследования показали, что криоконсервация является перспективным методом сохранения генетических ресурсов растений. При относительно небольших затратах данный метод позволяет сохранять генетические ресурсы растений в жизнеспособном состоянии в течение многих десятилетий, что значительно снижает расходы на регулярный пересев постоянно пополняющихся коллекций, уменьшает вероятность механического и биологического засорения образцов. Установлено, что глубокое замораживание семян в жидком азоте не оказывает отрицательного действия на их жизнеспособность (Walters et al., 2004; Reed, 2008; Pavlov et al., 2019; Verzhuk et al., 2012; Acosta, et al., 2020; Hu et al., 2013). Кроме того, у некоторых видов растений, например у очитка трехлистного (*Hylotelephium triphyllum*), всхожесть семян после замораживания была существенно выше, чем в контрольных образцах (Vorontkova, Kholina, 2011).

Показано, что при хранении семян с высоким содержанием масла при температуре выше -130°C происходят процессы перестройки липидов и только при хранении в жидком азоте останавливаются все процессы, происходящие в клетках (Orekhova, 2010), в связи с чем хранение при таких температурах может обеспечить всхожесть семян неограниченное количество лет.

Успех хранения при сверхнизких температурах определяется влажностью семян и скоростью их охлаждения. (Fedosenko, 1978). По данным Г. Ф. Сафиной (Safina, 2008), криоконсервация семян плодовых и ягодных растений с влажностью 5-6% не влияет на жизнеспособность семян.

«Узкими» местами криоконсервации являются заморозка и оттаивание генетического материала. В эти моменты наиболее велика вероятность повреждения клеток семян из-за образования внутриклеточного льда и дегидратации клеток. Эффективным методом снижения влияния вредных факторов является применение

криопротекторов. В нашей работе в качестве непроницающего криопротектора использован биоразрушаемый полимер 3-гидроксимасляной кислоты – П(ЗГБ) – наиболее распространенный и изученный представитель семейства полимеров микробиологического происхождения, так называемых полигидроксиалканоев (ПГА). Свойства ПГА (биоразрушаемость и высокая биологическая совместимость, устойчивость к УФ-лучам, отсутствие гидролиза в жидких средах и термопластичность) выдвигают эти биополимеры в разряд наиболее перспективных материалов XXI века для применения в различных сферах – от коммунального и сельского хозяйства до фармакологии и биомедицины (Volova et al., 2016; Volova et al., 2017; Volova et al., 2020).

Как было отмечено ранее, несмотря на то что процесс криоконсервации семян изучается продолжительное время, применение данного метода протестировано на небольшом числе культур коллекции ВИР.

Целью нашей работы являлось изучение влияния жидкого азота на жизнеспособность семян льна-долгунца. В задачи исследования входило: определить лабораторную энергию прорастания, лабораторную и полевую всхожесть семян после их хранения в жидком азоте; оценить влияние жидкого азота на лабораторную энергию прорастания и всхожесть после выемки из жидкого азота с последующим хранением при комнатной температуре в течение 6 месяцев; определить влияние упаковки (марлевых мешочков и герметично запаянных в вакууме пакетов из ламинированной алюминиевой фольги) на жизнеспособность семян; установить возможность использования биоразрушаемого полимера П(ЗГБ) в качестве защитного пленочного покрытия.

Материал и методы

В 2020 г. были проведены исследования по криоконсервации семян льна-долгунца. Определение лабораторной энергии прорастания и всхожести осуществляли в лаборатории длительного хранения генетических ресурсов (ЛДХГР) Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Оценку полевой всхожести осуществляли на базе научно-производственной базы (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». Для работы взяты семена сорта льна-долгунца 'Оршанский 2' (к-6807) урожая 2019 г., хранившиеся до начала эксперимента при комнатной температуре 9 месяцев.

Семена, отобранные для изучения, были проверены по показателям всхожести (GOST 12038-84..., 2020) и влажности (GOST 12041-82..., 2011), которые составили 99% и 6,5% соответственно.

Эксперимент включал 6 вариантов условий хранения семян (рис. 1):

1. контроль – при комнатной температуре (С);
2. при комнатной температуре с пленочным покрытием из П(ЗГБ), (Р);
3. в жидком азоте в марлевой упаковке (No);
4. в жидком азоте с пленочным покрытием из П(ЗГБ) в марлевой упаковке (NoP);
5. в жидком азоте в герметично запаянных в вакууме ламинированных пакетах из фольги (Nh);
6. в жидком азоте с пленочным покрытием из П(ЗГБ) в герметично запаянных в вакууме ламинированных пакетах из фольги (NhP).

Для каждого варианта было подготовлено по 24 г семян: 20 г – для определения полевой всхожести, 4 г – для

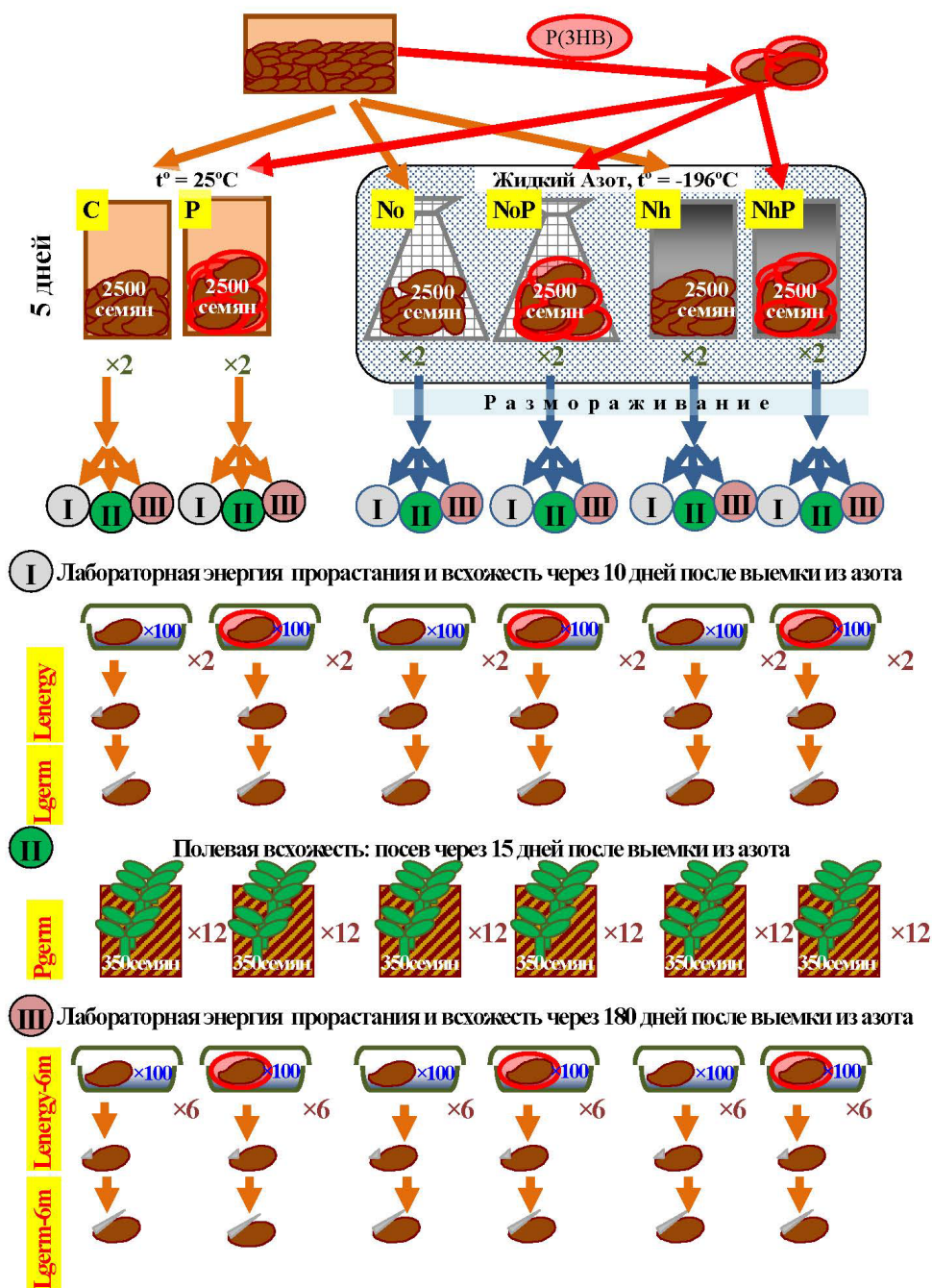


Рис. 1. Схема эксперимента:

I – лабораторная энергия прорастания и всхожесть через 10 дней после выемки из жидкого азота; II – полевая всхожесть через 15 дней после выемки из азота; III – лабораторная энергия прорастания и всхожесть через 180 дней после выемки из жидкого азота. **P(ЗНБ)** – протектор; $\times$ – число повторностей; **C** – контроль; **P** – семена, покрытые протектором; **No** – семена после хранения в жидком азоте в марлевой упаковке; **NoP** – семена, покрытые протектором, после хранения в жидком азоте в марлевой упаковке; **Nh** – семена после хранения в жидком азоте в герметичных пакетах; **NhP** – семена, покрытые протектором, после хранения в жидком азоте в герметичных пакетах; **Lenergy** – лабораторная энергия прорастания и **Lgerm** – лабораторная всхожесть через 10 дней после выемки из азота; **Lenergy-6m** – лабораторная энергия прорастания и **Lgerm-6m** – лабораторная всхожесть через 6 месяцев хранения после выемки из жидкого азота; **Pgerm** – полевая всхожесть

Fig. 1. Experiment scheme:

I – laboratory germination energy and capacity after 10 days from the extraction from liquid nitrogen; II – field germination capacity after 15 days from the extraction from liquid nitrogen; III – laboratory germination energy and capacity after 180 days from the extraction from liquid nitrogen. **P(ЗНБ)** – protector; $\times$ – number of replications; **C** – control; **P** – seeds covered with the protector; **No** – seeds after storage in liquid nitrogen in a gauze package; **NoP** – seeds covered with the protector after storage in liquid nitrogen in a gauze package; **Nh** – seeds after storage in liquid nitrogen in sealed bags; **NhP** – seeds covered with the protector, after storage in liquid nitrogen in sealed bags; **Lenergy** – laboratory germination energy and **Lgerm** – laboratory germination 10 days after removal from nitrogen; **Lenergy-6m** – laboratory germination energy and **Lgerm-6m** – laboratory germination 6 months after storage after removal from liquid nitrogen; **Pgerm** – field germination

лабораторной энергии прорастания и всхожести. Семена для всех вариантов опыта были отобраны из урожая одной делянки. Масса 1000 семян сорта 'Оршанский 2' (урожая 2019 г) составила 4,8 г.

Закладку опыта проводили 3 июня. Семена укладывали в марлевые мешочки или запаивали в вакууме в ламинированные пакеты. Подготовленные варианты опыта одновременно помещали на хранение в криотанк ХБ – 0,5 м³ с жидким азотом (–196°C). Продолжительность хранения семян в азоте составила 5 суток. После выемки семян из криотанка размораживание проводили при комнатной температуре +18...+20°C.

Оценку влияния действия азота и типов хранения проводили в три этапа (см. рис. 1):

1. через 10 дней после выемки семян из криотанка определяли лабораторную энергию прорастания и всхожесть, каждый вариант опыта оценивался в двукратной повторности;

2. через 15 дней хранения при комнатной температуре осуществляли посев для проверки полевой всхожести, каждый вариант опыта изучался в 12-кратной повторности;

3. для выявления пролонгированного действия жидкого азота через 6 месяцев хранения при комнатной температуре у экспериментальных семян также устанавливали лабораторную энергию прорастания и всхожесть, каждый вариант опыта исследовался в 6-кратной повторности.

В статью приняты следующие сокращения: **C** – контроль, **P** – семена, покрытые протектором, **No** – семена после хранения в жидком азоте в марлевой упаковке, **NoP** – семена, покрытые протектором, после хранения в жидком азоте в марлевой упаковке, **Nh** – семена после хранения в жидком азоте в герметичных пакетах, **NhP** – семена, покрытые протектором, после хранения в жидком азоте в герметичных пакетах. **Lenergy** – лабораторная энергия прорастания и **Lgerm** – лабораторная всхожесть через 10 дней после выемки из азота; **Lenergy-6m** – лабораторная энергия прорастания и **Lgerm-6m** – лабораторная всхожесть через 6 месяцев хранения после выемки из жидкого азота; **Pgerm** – полевая всхожесть.

Для формирования полимерного покрытия (далее – протектор) на поверхности семян использованы высокоочищенные образцы П(ЗГБ), синтезированные бактериями *Cupriavidus necator* B-10646 по запатентованной технологии (Volova, Shishatskaja, 2010), имеющие следующие характеристики: средневесовая молекулярная масса – 920 кДа; полидисперсность – 2,5; степень кристалличности – 78%; температура плавления и термической дегградации – соответственно 176,3 и 280,2°C. Сухие семена погружали в 2-процентный раствор П(ЗГБ) в хлороформе на 10–20 с и далее высушивали в вытяжном шкафу на фильтровальной бумаге. После испарения растворителя в течение 10–15 мин на поверхности семян формировалось пленочное покрытие.

Определение лабораторной энергии прорастания и всхожести проведено через 10 суток после выемки из азота в двух повторностях.

Для определения всхожести на дно растильни укладывали лист фильтровальной бумаги, который смачивали водой. Брали еще 2 листа, складывали их пополам, на верхней половине каждого делали надпись соответствующей повторности и укладывали их в растильню; таким образом, в растильне помещалось 2 повторности. На ложе растильни на нижнюю половину каждого из сложенных пополам листов раскладывали 100 семян с расстоя-

нием не менее 0,5 см друг от друга и накрывали второй половиной фильтровальной бумаги. Затем растильни с семенами помещали в термостат и проращивали при постоянной температуре 20°C в темноте. Учет энергии прорастания семян проводили через трое суток, определение всхожести – через 7 суток, день закладки и день подсчета считали за 1 сутки. К всхожим относили нормально проросшие семена, имеющие хорошо развитый главный зародышевый корешок и имеющие здоровый вид. Всхожесть и энергию прорастания семян вычисляли в процентах.

При полевой оценке всхожести семена всех вариантов опыта взвешивали на аналитических весах с точностью до сотых долей грамма; таким образом, с учетом массы 1000 семян, количество высеваемых на делянку семян составило ≈2083 шт. Посев осуществляли 23 июня. Семена каждого варианта эксперимента сеяли вручную на двух делянках площадью 1 м² (по 6 рядков). После появления полных всходов, при наступлении фенологической фазы «елочка», проводили подсчет количества растений на делянке, а затем расчет полевой всхожести.

Для установления пролонгированного влияния жидкого азота на семена определяли лабораторную энергию прорастания и всхожесть после хранения при комнатной температуре в течение 6 месяцев. Исследовали 6 повторностей.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием дисперсионного анализа, критериев *t* Стьюдента и *U* Манна – Уитни, в программе Statistica 7.0. Равенство дисперсий у выборок критерия *t* Стьюдента оценивали с помощью *F*-критерия Фишера. В дисперсионном анализе выборки, где наблюдался большой разброс значений, были проверены на однородность с помощью критерия Левина (StatSoft..., 1984–2021).

Критерий *t* Стьюдента является наиболее строгим при определении достоверности различия между двумя выборками, однако он предполагает наличие нормального распределения, которое просто невозможно, если данные внутри каждой из выборок практически не отличаются. Считается, что в этом случае различия будут заниженными. Непараметрический критерий *U* Манна – Уитни более слабый, но позволяет сравнивать выборки без учета нормальности распределения. Поэтому, совмещая эти два критерия, можно более полно оценить различия между контрастными группами. *F*-критерий Фишера более близок к критерию *t* Стьюдента, но позволяет оценить одновременно влияние двух факторов – протектора и азота, а также случайное варьирование, не только по достоверности, но и по вкладу в общую изменчивость (η^2).

Для изучения влияния протектора проводилось сравнение образовавшихся альтернативных классов «без протектора» (**C+No+Nh**) и «с протектором» (**P+NoP+NhP**). Таким образом, для лабораторной энергии и лабораторной всхожести **Lenergy**, **Lgerm** выборка в каждом из классов была равна 6, **Lenergy-6m**, **Lgerm-6m** – 18, а для полевой всхожести **Pgerm** – 36 значений.

При изучении влияния паров жидкого азота, проводили сравнение альтернативных классов «хранение в комнатных условиях» (**C+P**) : «хранение в парах жидкого азота» (**No+NoP+Nh+NhP**). Таким образом, для лабораторной энергии и лабораторной всхожести **Lenergy**, **Lgerm** выборка «комнатные условия» состояла из 4, а «азот» – из 8 значений, **Lenergy-6m**, **Lgerm-6m** – из 12 и 24 соответственно, а для полевой всхожести **Pgerm** – 24 и 48 значений соответственно.

При изучении влияния упаковки при хранении в парах жидкого азота проводили сравнение альтернативных классов «хранение в комнатных условиях» (**C+P**), «хранение в азоте в марлевой упаковке» (**No+NoP**), «хранение в герметической упаковке» (**Nh+NhP**). Таким образом, для лабораторной энергии и лабораторной всхожести **Lenergy**, **Lgerm** выборка в каждом из классов была равна 4, **Lenergy-6m**, **Lgerm-6m** – 12, а для полевой всхожести **Pgerm** – 24 значения.

Результаты и обсуждение

Через 5 суток после закладки эксперимента все семена были одновременно извлечены из криотанка. При этом у вариантов, хранившихся в азоте в марлевой упаковке, при оттаивании на воздухе при комнатной температуре наблюдали повреждения и отслаивание семенной кожуры. Семена, хранившиеся в ламинированных пакетах, имели ненарушенную спермодерму.

Анализ лабораторной энергии прорастания (**Lenergy**) и всхожести (**Lgerm**) семян через 10 суток после выемки из азота, выявил, что у контроля (**C**) данные показатели, в среднем по двум повторностям, составили 99% (табл. 1, рис. 2, а; б). В варианте с пленочным покрытием

семян **П(ЗГБ) (P)** они оказались на уровне 98%. В вариантах упаковки семян в марлю энергия и всхожесть семян, без обработки **П(ЗГБ) (No)**, была соответственно 95 и 97%, а с обработкой (**NoP**) – 96 и 98%.

Сравнение данных по критериям *t* Стьюдента и *U* Манна – Уитни показало, что при хранении в жидком азоте достоверное снижение показателей жизнеспособности наблюдалось лишь в вариантах с герметичной вакуумной упаковкой семян в ламинированные алюминиевые пакеты и составила в варианте без обработки **П(ЗГБ) (Nh)** соответственно 83 и 91%, а с обработкой (**NhP**) – 81 и 86% (см. табл. 1). Это, возможно, связано с замедлением скорости заморозки. В то время как в марлевой упаковке этот процесс протекает быстрее, что положительно сказывается на сохранности семян льна.

Анализ лабораторной энергии прорастания (**Lenergy-6m**) и всхожести (**Lgerm-6m**) через 6 месяцев хранения при комнатной температуре после замораживания в жидком азоте по критериям *t* Стьюдента и *U* Манна – Уитни показал, что семена из контроля (**C**) и с покрытием **П(ЗГБ) (P)** достоверно не различаются. Они не изменили своих характеристик, **Lenergy-6m** равнялось 99%, а **Lgerm-6m** – 98%. В вариантах, где семена были упакованы в марлю без обработки (**No**) и с обработкой **П(ЗГБ)**

Таблица 1. Сравнение энергии прорастания и всхожести у семян льна при различных способах хранения по критериям *U* Манна – Уитни и *t* Стьюдента

Table 1. Comparison of germination energy and germination capacity of flax seeds under different storage patterns according to the Mann-Whitney *U* test and Student's *t*-test

Группа I vs Группа II / Group I vs Group II	Энергия прорастания или всхожесть / Germination energy or capacity	Характеристика вариантов (Mean ± Se) / Group characterization (Mean ± Se)		Критерий, <i>p</i> / Criterion, <i>p</i>	
		Группа I / Group 1	Группа II / Group II	Mann-Whitney U test	Student's <i>t</i> -test
		C	NoP		
Контроль (C) vs хранение в марлевой упаковке (NoP)	Lenergy	99,0 ± 0,0	95,5 ± 0,5	невозможно опр-ть	0,02
	Pgerm	82,8 ± 0,7	78,9 ± 1,0	0,001	0,004
	Lenergy-6m	99,7 ± 0,3	84,7 ± 5,5	0,003	0,02
	Lgerm-6m	99,7 ± 0,3	95,0 ± 2,0	0,02	0,04
		C	Nh		
Контроль (C) vs хранение в герметической упаковке (Nh)	Lenergy	99,0 ± 0,0	82,5 ± 1,5	невозможно опр-ть	0,01
	Lgerm	99,0 ± 0,0	90,5 ± 1,5	невозможно опр-ть	0,03
	Pgerm	82,8 ± 0,7	78,6 ± 1,1	0,01	0,004
	Lenergy-6m	99,7 ± 0,3	73,0 ± 6,2	0,003	0,002
	Lgerm-6m	99,7 ± 0,3	87,7 ± 2,9	0,004	0,002
		C	NhP		
Контроль (C) vs хранение в герметической упаковке с протектором (NhP)	Lenergy	99,0 ± 0,0	81,0 ± 0,0	невозможно опр-ть	0,01
	Lgerm	99,0 ± 0,0	86,0 ± 2,0	невозможно опр-ть	0,02
	Pgerm	82,8 ± 0,7	78,2 ± 1,1	0,001	0,002
	Lenergy-6m	99,7 ± 0,3	80,7 ± 2,2	0,003	0,0000
	Lgerm-6m	99,7 ± 0,3	91,3 ± 2,8	0,01	0,014

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

Группа I vs Группа II / Group I vs Group II	Энергия прорастания или всхожесть / Germination energy or capacity	Характеристика вариантов (Mean $\pm$ Se) / Group characterization (Mean $\pm$ Se)		Критерий, p / Criterion, p	
		Группа I / Group 1	Группа II / Group II	Mann-Whitney U test	Student's t -test
		C+P	No+NoP+Nh+Nh		
Хранение в: комнатных условиях (C+P) vs в азоте (No+NoP+Nh+NhP)	Lenergy	98,5 $\pm$ 0,5	88,5 $\pm$ 2,6	0,01	0,02
	Lgerm	98,5 $\pm$ 0,5	92,0 $\pm$ 1,9	0,03	0,06
	Pgerm	81,9 $\pm$ 0,9	79,0 $\pm$ 0,5	0,001	0,004
	Lenergy-6m	98,8 $\pm$ 0,5	81,3 $\pm$ 3,2	0,0000	0,0005
	Lgerm-6m	99,2 $\pm$ 0,4	92,8 $\pm$ 1,4	0,001	0,002
		C+P	No+NoP		
Хранение в: комнатных условиях (C+P) vs в азоте в марлевой упаковке (No+NoP)	Lenergy	98,5 $\pm$ 0,5	95,3 $\pm$ 0,2	0,02	0,001
	Pgerm	81,9 $\pm$ 0,9	79,7 $\pm$ 0,7	0,03	0,05
	Lenergy-6m	98,8 $\pm$ 0,5	85,7 $\pm$ 5,2	0,002	0,02
	Lgerm-6m	99,2 $\pm$ 0,4	96,0 $\pm$ 1,3	0,04	0,03
		C+P	Nh+NhP		
Хранение в: комнатных условиях (C+P) vs в азоте в герметической упаковке (Nh+NhP)	Lenergy	98,5 $\pm$ 0,5	81,8 $\pm$ 0,8	0,02	0,0000
	Lgerm	98,5 $\pm$ 0,5	88,3 $\pm$ 1,7	0,02	0,001
	Pgerm	81,9 $\pm$ 0,9	78,4 $\pm$ 0,8	0,001	0,004
	Lenergy-6m	98,8 $\pm$ 0,5	76,8 $\pm$ 3,3	0,0000	0,0000
	Lgerm-6m	99,2 $\pm$ 0,4	89,5 $\pm$ 2,0	0,0003	0,0001
		No+NoP	Nh+NhP		
Хранение в азоте в: марлевой упаковке (No+NoP) vs в герметической упаковке (Nh+NhP)	Lenergy	95,3 $\pm$ 0,2	81,8 $\pm$ 0,8	0,02	0,0000
	Lgerm	97,3 $\pm$ 0,6	88,3 $\pm$ 1,7	0,02	0,002
	Lgerm-6m	96,0 $\pm$ 1,3	89,5 $\pm$ 2,0	0,02	0,01

Примечание: – Mean $\pm$ Se – среднее с доверительным интервалом ($\pm$ стандартная ошибка) варианта опыта; p – уровень значимости; невозможно опр-ть – невозможно определить; vs – по сравнению. В таблице приведены только варианты экспериментов, достоверно отличающиеся друг от друга

Note: – Mean $\pm$ Se – the mean with a confidence interval ($\pm$ standard error) of the experiment group; p – the significance level; невозможно опр-ть – impossible to determine; vs – versus. The table shows only the experiment options that differ significantly from each other

(NoP), а также в варианте хранения семян в ламинированных пакетах без обработки П(ЗГБ) (Nh) произошло снижение лабораторной энергии прорастания, которая составила 87, 85 и 73% соответственно. Лишь в варианте размещения семян в ламинированных алюминиевых пакетах с обработкой П(ЗГБ) (NhP) энергия прорастания не изменилась (81%). Четкой зависимости между сроком хранения семян на воздухе при комнатной температуре после замораживания в жидком азоте и лабораторной всхожестью выявить не удалось (см. табл. 1, рис. 2, д; е).

Оценка полевой всхожести (Pgerm) показала следующие результаты: в контроле число взойшедших растений составило в среднем 287 шт. на рядок (всхожесть 83%)

(см. табл. 1, рис. 2, с). После обработки П(ЗГБ) без замораживания на рядке взошло в среднем 281 растение, что соответствовало 81% всхожести. В вариантах с марлевой упаковкой семян, в случае без обработки П(ЗГБ), количество растений на рядке оказалось в среднем 279 (80%), а с обработкой – 274 (79%). В варианте хранения семян в ламинированных пакетах были получены следующие показатели: без обработки – 273 на рядок (79%), а с обработкой – 271 (78%) растений. Анализ по критериям t Стьюдента и U Манна – Уитни показал, что в менее благоприятных полевых условиях различия между процентом всхожих семян в марлевой упаковке и ламинированных пакетах из фольги оказались незначительными.

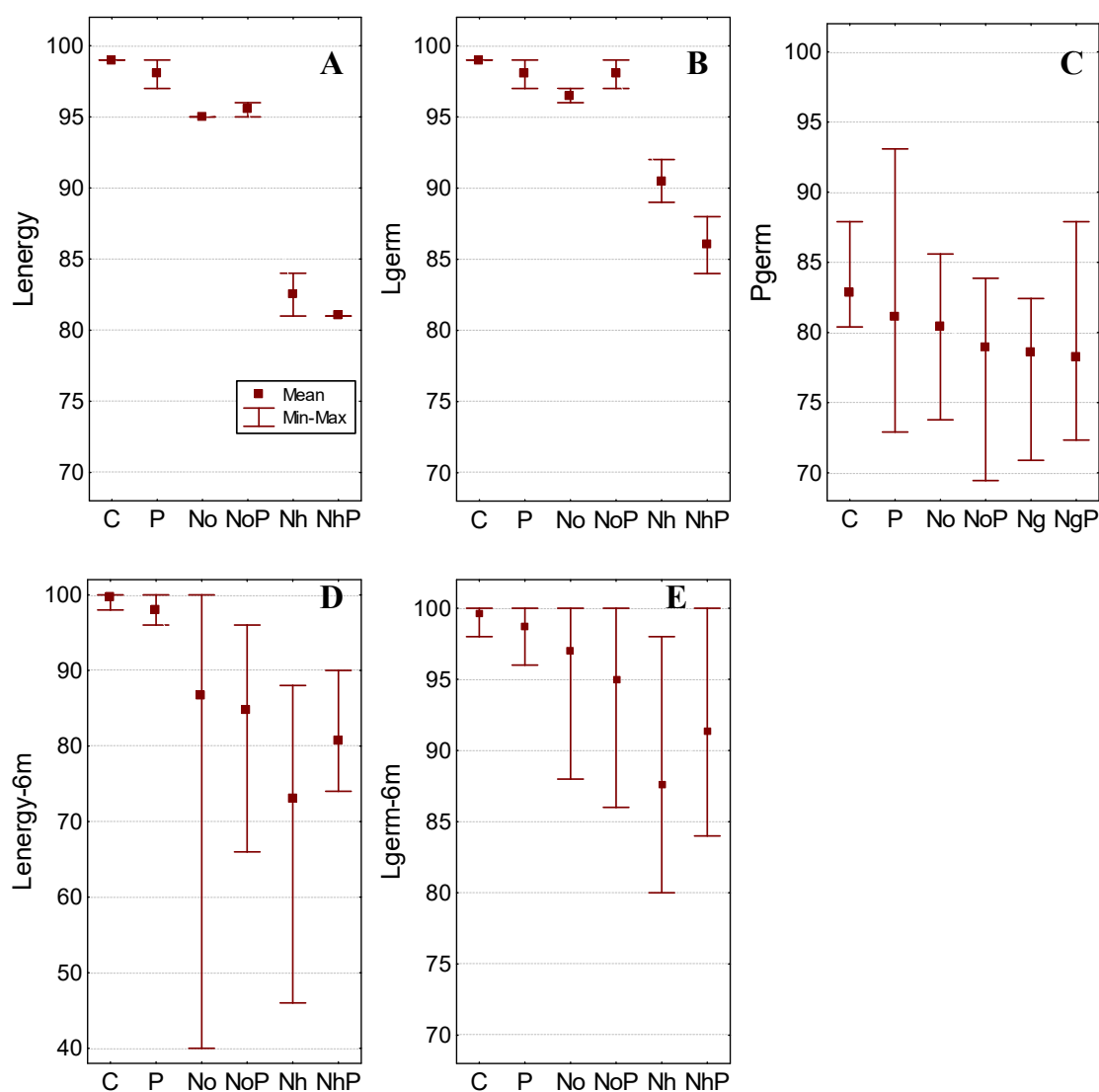


Рис. 2. Энергия прорастания и всхожесть семян льна в различных вариантах эксперимента:

A – лабораторная энергия прорастания через 10 дней после выемки из жидкого азота; **B** – лабораторная всхожесть через 10 дней после выемки из азота; **C** – полевая всхожесть через 15 дней после выемки из жидкого азота;

D – лабораторная энергия прорастания после 6 месяцев хранения семян, извлеченных из жидкого азота;

E – лабораторная всхожесть после 6 месяцев хранения семян, извлеченных из жидкого азота.

Min, max, mean – минимальное, максимальное и среднее значения энергии прорастания или всхожести.

Остальные сокращения см. на рисунке 1

Fig. 2. Germination energy and germination capacity of flax seeds in different options of the experiment:

A – laboratory germination energy; **B** – laboratory germination capacity; **C** – field germination capacity;

D – laboratory germination energy after 6 months of storage; **E** – laboratory germination capacity after 6 months of storage.

Min, max, mean – minimum, maximum and mean values of germination energy or germination capacity.

For the remaining abbreviations, see Figure 1

Таким образом, сравнение контроля с каждым вариантом опыта по критериям *t* Стьюдента и *U* Манна – Уитни (см. табл. 1) показало, что энергия прорастания через 10 дней после выемки из азота, энергия прорастания и всхожесть через 6 месяцев хранения при комнатной температуре и полевая всхожесть достоверно отличались от контроля. Всхожесть семян при хранении в жидком азоте в марле, ламинированных пакетах с протектором или без него также достоверно отличалась от контроля.

Сравнение других вариантов эксперимента [контроль (C) vs хранение в марлевой упаковке (NoP) – **Lgerm**; хранение в комнатных условиях (C+P) vs хранение в азоте в марлевой упаковке (No+NoP) – **Lgerm**; хранение в азо-

те в марлевой упаковке (No+NoP) vs хранение в азоте в герметической упаковке (Nh+NhP) – **Lgerm**, **Pgerm**, **Lenergy-6m**, а также всех вариантов проверки всхожести у контроль (C) vs хранение в комнатных условиях семян покрытых протектором (P), контроль (C) vs хранение в азоте в марлевой упаковке (No), хранение без протектора (C+No+Nh) vs хранение с протектором (P+NoP+NhP)] не выявило достоверных различий по показателям всхожести и энергии прорастания.

Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что применение для криоконсервации П(ЗГБ) (P) в виде пленочного покрытия не оказало достоверного влияния на результат ни в одном из вариантов опыта с его использованием (табл. 2).

Таблица 2. Влияние хранения в жидком азоте и протектора на энергию прорастания и всхожесть семян льна
Table 2. The effect of a protectant and exposure to liquid nitrogen on the germination energy and germination capacity of flax seeds

Параметр / Parameter	ANOVA: Влияние протектора (Pr) и жидкого азота (N) / Effect of a protectant (Pr) and liquid nitrogen (N)			
	протектор / protectant (Pr)	жидкий азот / liquid nitrogen (N)	Pr × N	Случайное варьирование / Error
Лабораторная энергия прорастания / Laboratory germination energy (Lenergy)				
df	1	1	1	8
MS	1,5	267	0,2	47
F	0,03	5,71	0,004	
p	0,86	0,04*	0,95	
η^2 , %	0	42	0	58
Лабораторная всхожесть / Laboratory germination capacity (Lgerm)				
df	1	1	1	8
MS	4,2	88	0,2	25
F	0,17	3,58	0,01	
p	0,69	0,10	0,94	
η^2 , %	1	30	0	68
Полевая всхожесть / Field germination capacity (Pgerm)				
df	1	1	1	68
MS	28	135	3	15
F	1,84	8,73	0,16	
p	0,18	0,004*	0,69	
η^2 , %	2	11	0	87
Лабораторная энергия прорастания после 6 месяцев хранения / Laboratory germination energy after 6 months of storage (Lenergy-6m)				
df	1	1	1	32
MS	3	2473	40	173
F	0,02	14,31	0,23	
p	0,90	0,001*	0,63	
η^2 , %	0	31	1	69
Лабораторная всхожесть после 6 месяцев хранения / Laboratory germination capacity after 6 months of storage (Lgerm-6m)				
df	1	1	1	32
MS	0,1	329	7	32
F	0,002	10,26	0,21	
p	0,97	0,003*	0,65	
η^2 , %	0	24	0	75

Примечание: df – число степеней свободы; MS – дисперсия; F – показатель достоверности влияния по Фишеру;

p – вероятность случайности наблюдаемых различий; η^2 , % – доля влияния по Фишеру;

* – жирным шрифтом отмечены достоверные различия

Note: df – the number of degrees of freedom; MS – the variance; F – the confidence index of the Fischer influence;

p – the probability of randomness of the observed differences; η^2 , % – the effect size of the Fischer influence;

* – significant differences are boldfaced

Экспозиция семян в жидком азоте (N) оказала достоверное негативное влияние на лабораторную энергию прорастания (42%, снижение), полевую всхожесть (11%), лабораторную энергию прорастания (31%), и всхожесть после 6 месяцев хранения в условиях комнатной температуры (24%) (см. табл. 2).

Большинство лабораторных опытов дают завышенную оценку всхожести по сравнению с полевыми данными. Поэтому необходимо прямое сравнение полученных результатов. По критериям *t* Стьюдента и U Манна – Уитни были показаны достоверные отличия полевой всхожести от лабораторной энергии прорастания и всхожести во всех вариантах опыта (табл. 3), что говорит о более жестких условиях при полевом эксперименте. Также было выявлено значительное снижение показателей энергии прорастания семян по сравнению со всхожестью спустя 6 месяцев хранения при комнатной температуре после выемки семян из жидкого азота.

• Хранение в жидком азоте семян, помещенных в герметично запаиваемые в вакууме ламинированные пакеты из алюминиевой фольги, привело к достоверному снижению энергии прорастания и всхожести семян.

• Криопротекторные свойства полимера 3-гидроксимасляной кислоты (ПГА) не проявились потому, что семена льна устойчивы к воздействию сверхнизких температур, вследствие чего ПГА не мог показать криопротекторные свойства. Изучение ПГА в качестве криопротектора будет продолжено на других объектах.

• Проведенный пилотный эксперимент показал, что из-за небольших различий всхожести семян после хранения в разных видах упаковки можно использовать любой из опробованных способов заморозки, что значительно облегчает и удешевляет криоконсервацию льна. При этом нет необходимости поиска более сложных вариантов заморозки и оттаивания семян у данной культуры.

Таблица 3. Сравнение энергии прорастания и всхожести семян льна в полевых и лабораторных условиях по критериям U Манна – Уитни и *t* Стьюдента

Table 3. Comparison of germination energy and germination capacity of flax seeds under field and laboratory conditions according to the Mann-Whitney U test and Student's *t* test

Группа I vs Группа II / Group I vs Group II	Характеристика вариантов (Mean ± Se) / Group characterization (Mean ± Se)		Критерий, <i>p</i> / Criterion, <i>p</i>	
	Группа I / Group 1	Группа II / Group II	Mann-Whitney U test	Student's <i>t</i> -test
P _{germ} vs L _{energy}	80,0 ± 0,5	91,8 ± 2,2	0,0000	0,0000
P _{germ} s L _{germ}	80,0 ± 0,5	94,7 ± 1,5	0,0000	0,0000
P _{germ} vs L _{energy-6m}	80,0 ± 0,5	87,1 ± 2,5	0,0001	0,0003
P _{germ} vs L _{germ-6m}	80,0 ± 0,5	94,9 ± 1,0	0,0000	0,0000
L _{energy-6m} vs L _{germ-6m}	87,1 ± 2,5	94,9 ± 1,0	0,0300	0,0100

Примечание: Mean ± Se – среднее с доверительным интервалом (± стандартная ошибка) варианта опыта; *p* – уровень значимости; vs – по сравнению. В таблице приведены только варианты экспериментов, достоверно отличающиеся друг от друга

Note: Mean ± Se – the mean with a confidence interval (± standard error) of the experiment group; *p* – significance level; vs – versus. The table shows only the experiment options that differ significantly from each other

Заключение

По результатам хранения семян льна в жидком азоте можно сделать следующие выводы:

• Семена льна хорошо переносят понижение температуры до –196°C при их прямом погружении в азот с последующим отогревом на воздухе при комнатной температуре.

• При непосредственном контакте жидкого азота с семенами льна (в марлевой упаковке) участи семян наблюдали повреждение семенной кожуры, однако это достоверно не повлияло на лабораторную и полевую всхожесть семян данного варианта опыта.

References / Литература

- Acosta Y., Pérez L., Linares C., Hernández L., Escalante D., Pérez A. et al. Effects of *Teramnus labialis* (L.f.) Spreng seed cryopreservation on subsequent seed and seedling growth and biochemistry. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2020;42:7. DOI: 10.1007/s11738-020-3012-9
- FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. The state of the world's biodiversity for food and agriculture in brief. Rome: FAO; 2019. Available from: <https://www.fao.org/3/CA3229EN/CA3229EN.pdf> [accessed Dec, 23, 2021].

- Fedosenko V.A. Use of ultralow temperatures for long-term storage of seeds (methods and techniques) (Ispol'zovaniye sverkh nizkikh temperatur dlya dlitel'nogo khraneniya semyan [metody i tekhnika]). *Scientific and Technical Bulletin of the N.I. Vavilov All-Union Research Institute of Plant Industry*. 1978;77:53-57. [in Russian] (Федосенко В.А. Использование сверхнизких температур для длительного хранения семян (методы и техника). *Научно-технический бюллетень Всесоюзного научно-исследовательского института растениеводства имени Н.И. Вавилова*. 1978;77:53-57).
- Filipenko G.I. Development of the system of low-temperature storage and cryopreservation of plant genetic resources at VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2007;164:263-272. [in Russian] (Филипенко Г.И. Развитие системы низкотемпературного хранения и криоконсервации генофонда растений в ВИР им. Н.И. Вавилова. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2007;164:263-272).
- GOST 12038-84. Interstate standard. Agricultural seeds. Methods for determination of germination. Moscow; 2020. [in Russian] (ГОСТ 12038-84. Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Москва; 2020). URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12038-84> [дата обращения: 19.02.2021].
- GOST 12041-82. Interstate standard. Seed of farm crops. Method for determination of moisture content. Moscow; 2011. [in Russian] (ГОСТ 12041-82. Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Метод определения влажности. Москва; 2011). URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12041-82> [дата обращения: 19.02.2021].
- Hu W.H., Yang Y.H., Liaw S.I., Chang C. Cryopreservation the seeds of a Taiwanese terrestrial orchid, *Bletilla formosana* (Hayata) Schltr. by vitrification. *Botanical Studies*. 2013;54(1):33. DOI: 10.1186/1999-3110-54-33
- Molodkin V.Yu. Significance of seed moisture content in some cereal and leguminous crops during cryopreservation in liquid nitrogen (Znachenie vlazhnosti semyan nekotorykh zernovykh i zernovykh bobovykh kultur pri kriokonservatsii v zhidkom azote). *Scientific and Technical Bulletin of the N.I. Vavilov All-Union Research Institute of Plant Industry*. 1986;165:22-24. [in Russian] (Молодкин В.Ю. Значение влажности семян некоторых зерновых и зерновых бобовых культур при криоконсервации в жидком азоте. *Научно-технический бюллетень Всесоюзного научно-исследовательского института растениеводства имени Н.И. Вавилова*. 1986;165:22-24).
- Orekhova T.P. Creation of long-term seed bank of woody species – the real way of preservation of their genofund. *Conifers of the Boreal Area*. 2010;27(1-2):25-31. [in Russian] (Орехова Т.П., Создание долговременного банка семян древесных видов – реальный способ сохранения их генофонда. *Хвойные бореальной зоны*. 2010;27(1-2):25-31).
- Pavlov A.V., Verzhuk V.G., Orlova S.Yu., Radchenko O.E., Yeraschenkova M.V., Dodonova A.Sh. et al. Cryopreservation as a method to preserve some fruit and berry crops and wild medicinal plants. *Problems of Cryobiology and Cryomedicine*. 2019;29(1):44-57. DOI: 10.15407/cryo29.01.044
- Reed B.M. (ed.). Plant cryopreservation: A practical guide. New York, NY: Springer Verlag; 2008. DOI: 10.1007/978-0-387-72276-4
- Safina G.F. The influence of low and ultralow temperature on viability of fruit and berry seeds. *Informatsionnyy vestnik VOGiS = Bulletin of the Vavilov Society of Geneticists and Plant Breeders*. 2008;12(4):541-547. [in Russian] (Сафина Г.Ф. Влияние низких и сверхнизких температур на жизнеспособность семян плодовых и ягодных растений. *Информационный вестник ВОГиС*. 2008;12(4):541-547).
- Safina G.F., Petrova M.N. Viability and dynamics of germinating capacity in apple seed during cryopreservation. *Agricultural Biology*. 2008;43(5):78-81. [in Russian] (Сафина Г.Ф., Петрова М.Н. Жизнеспособность и динамика всхожести семян яблони при криоконсервации. *Сельскохозяйственная биология*. 2008;43(5):78-81).
- StatSoft. Electronic manual on statistics (Elektronnyy uchebnik po statistike). 1984-2021. [in Russian] (StatSoft. Электронный учебник по статистике. 1984-2021). URL: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm> [дата обращения: 06.05.2021].
- United Nations. UN News. Rapid disappearance of animal and plant species is fraught with food shortages in the future (Stremitelnoye ischeznoveniye vidov zhivotnykh i rasteniy chrevato defitsitom prodovol'stviya v budushchem). 2019. [in Russian] (Организация Объединенных Наций. Новости ООН. Стремительное исчезновение видов животных и растений чревато дефицитом продовольствия в будущем. 2019). URL: <https://news.un.org/ru/story/2019/02/1349661> [дата обращения: 10.03.2021].
- Verzhuk V.G., Filipenko G.I., Safina G.F., Pavlov A.V., Zhestkov A.S. Cryopreservation is an effective method of fruit crops genetic resources conservation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2012;169:270-279. [in Russian] (Вержук В.Г., Филипенко Г.И., Сафина Г.Ф., Павлов А.В., Жестков А.С. Криоконсервация – эффективный метод сохранения генетических ресурсов плодовых и ягодных культур. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012;169:270-279).
- Volova T.G., Shishatskaja E.I. *Cupriavidus eutrophus* VKPM B-10646 – producer of polyhydroxy alkanates and production method thereof. Russian Federation; patent number: RU 2439143 C1; 2010. [in Russian] (Волова Т.Г., Шишацкая Е.И. Штамм бактерий *Cupriavidus eutrophus* VKPM B-10646 – продуцент полигидроксиалканоев и способ их получения Российская Федерация; патент № RU 2439143 C1; 2010).
- Volova T.G., Shishatskaya E.I., Prudnikova S.V., Zhila N.O., Boyandin A.N. New generation formulations of agrochemicals: Current trends and future priorities. Boca Raton, FL: Apple Academic Press; 2020. DOI: 10.1201/9780429433610
- Volova T.G., Vinnik Yu.S., Shishatskaya, E.I., Markelova N.M., Zaikov G.E. (eds). Natural-based polymers for biomedical applications. New York, NY: Apple Academic Press; 2017. DOI: 10.1201/9781315366036
- Volova T.G., Zhila N.O., Prudnikova S.V., Boyandin A.N., Shishatskaya E.I. Fundamentals of the design and use of new-generation agricultural products (Fundamentalnye osnovy konstruirovaniya i primeneniya selskokhozyaystvennykh preparatov novogo pokoleniya). Krasnoyarsk; 2016. [in Russian] (Волова Т.Г., Жила Н.О., Прудникова С.В., Бояндин А.Н., Шишацкая Е.И. Фундаментальные основы конструирования и применения сельскохозяйственных препаратов нового поколения. Красноярск; 2016).
- Voronkova N.M., Kholina A.B. Germination biology and cryostorage of seeds of some food and medicinal plant species in Russian Far East. *The Bulletin of KrasGAU*. 2011;9(60):55-59. [in Russian] (Воронкова Н.М., Холина А.Б. Биология прорастания и криохранение семян некоторых пище-

вых и лекарственных видов растений Дальнего Востока России. *Вестник КрасГАУ*. 2011;9(60):55-59).
Walters C., Wheeler L., Stanwood P.C. Longevity of cryogenically stored seeds, *Cryobiology*. 2004;48(3):229-244.
DOI: 10.1016/j.cryobiol.2004.01.007

Zhimulev I.F., Solomonov N.G., Sokolov V.A. Cryostorage of seeds: results and prospects (Kriokhraneniye semyan: itogi i perspektivy). Novosibirsk; 2014. [in Russian] (Жимулев И.Ф., Соломонов Н.Г., Соколов В.А. Криохранение семян: итоги и перспективы. Новосибирск; 2014).

Информация об авторах

Андрей Валерьевич Павлов, 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, avpavlov77@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5098-4904>

Елизавета Александровна Пороховинова, 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, e.porohovinova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8328-9684>

Нина Борисовна Брач, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующая отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, n.brutch@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2253-6263>

Александр Васильевич Павлов, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, pavlov.cryolab@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4319-0353>

Владимир Григорьевич Вержук, 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, v.verzhuk@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6891-6272>

Information about the authors

Andrey V. Pavlov, Cand. Sci (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, avpavlov77@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5098-4904>

Elizaveta A. Porokhovinova, Dr. Sci (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.porohovinova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8328-9684>

Nina B. Brutch, Dr. Sci (Biology), 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, n.brutch@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2253-6263>

Aleksandr V. Pavlov, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, pavlov.cryolab@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4319-0353>

Vladimir G. Verzhuk, Cand. Sci (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia, v.verzhuk@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6891-6272>

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 11.06.2021; одобрена после рецензирования 23.11.2022; принята к публикации 02.03.2023. The article was submitted on 11.06.2022; approved after reviewing on 23.11.2022; accepted for publication on 02.03.2023.

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 633.111.3:631.526.32

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-21-32



Селекционное улучшение яровой шарозерной пшеницы *Triticum sphaerococcum* Percival в условиях Средневолжского региона

Дам. Ф. Асхадуллин¹, Дан. Ф. Асхадуллин¹, Н. З. Василова¹, М. Р. Тазутдинова¹, И. И. Хусаинова¹, Г. Р. Гайфуллина¹,
Е. С. Кириллова¹, Н. С. Лысенко²

¹ Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук,
Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Казань, Россия

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Дамир Фидусович Асхадуллин, damir.askhadullin@knc.ru

Актуальность. *Triticum sphaerococcum* Percival – шарозерная пшеница – обладает рядом положительных характеристик: округлая форма зерновки, отличные хлебопекарные качества, устойчивость к полеганию, но создание коммерческих сортов этого вида сложно реализуемо из-за низкой продуктивности. Основная проблема для селекционного использования *T. sphaerococcum* – сильный плейотропный эффект круглозерности и компактности колоса, обусловленный соответственно генами *S-D1*, *C2*. Вместе с ними наследуются и негативные признаки, свойственные этому виду: мелкое зерно, низкая продуктивность колоса.

Материал и методы. Материал для исследований представлен пятью образцами *T. sphaerococcum* из коллекции ВИР, а также перспективными линиями яровой шарозерной пшеницы селекции Татарского НИИСХ и сортами яровой мягкой пшеницы, являющимися стандартами в Средневолжском сельскохозяйственном регионе. Изучение и селекционная проработка материала осуществлялись по традиционным методикам в селекции яровой мягкой пшеницы. Поражение растений основными болезнями оценивали в соответствии с методическими указаниями ВИР. Мукомольно-хлебопекарные качества зерна оценивали по общепринятым методикам и ГОСТам.

Результаты. В результате селекционной работы были получены конкурентоспособные линии шарозерной пшеницы. Показано, что созданные линии значительно превосходят по урожайности и устойчивости к основным грибным болезням исходные образцы шарозерной пшеницы, но уровень зерновой продуктивности созданных линий был ниже стандартного сорта мягкой пшеницы 'Йолдыз'. Подтверждены высокие качественные показатели муки и зерна шарозерной пшеницы. Получен патент на сорт яровой шарозерной пшеницы 'Сакара'.

Ключевые слова: грибные болезни, элементы структуры урожая, урожайность, качество, пшеница-улучшитель

Благодарности: работа выполнена в рамках государственных заданий по тематическим планам: ВИР, проект № FGEM-2022-009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве»; ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН «Эколого-генетические подходы к созданию и сохранению ресурсов растений и животных, расширению их адаптивного потенциала и биоразнообразия, разработка сберегающих агротехнологий с целью повышения устойчивости производства высококачественной продукции, достижения безопасности для здоровья человека и окружающей среды» и проекта «Создание селекционно ценных генотипов яровой шарозерной пшеницы». Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Асхадуллин Дам.Ф., Асхадуллин Дан.Ф., Василова Н.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И., Гайфуллина Г.Р., Кириллова Е.С., Лысенко Н.С., 2023. Селекционное улучшение яровой шарозерной пшеницы *Triticum sphaerococcum* Percival в условиях Средневолжского региона. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):21-32. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-21-32

© Асхадуллин Дам.Ф., Асхадуллин Дан.Ф., Василова Н.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И., Гайфуллина Г.Р., Кириллова Е.С., Лысенко Н.С., 2023

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-21-32

Breeding improvement of spring Indian dwarf wheat *Triticum sphaerococcum* Percival under the conditions of the Middle Volga Region

Damir F. Askhadullin¹, Danil F. Askhadullin¹, Nurania Z. Vasilova¹, Muhabbat R. Tazutdinova¹, Ilsina I. Khusainova¹, Gulnar R. Gayfullina¹, Elena S. Kirillova¹, Natalia S. Lysenko²

¹ Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Tatar Research Institute of Agriculture, Kazan, Russia

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Damir F. Askhadullin, damir.askhadullin@knc.ru

Background. Indian dwarf wheat (*Triticum sphaerococcum* Percival) has positive traits: round grain shape, excellent flour and grain quality, and a short stem, but it is difficult to develop cultivars of this species due to low productivity. The main problem in the improvement of *T. sphaerococcum* is the pleiotropic effect of grain roundness and ear compactness caused by the *S-D1* and *C2* genes. These genes are inherited together with negative features peculiar to this species: small grain, and low ear productivity. This paper presents the results of breeding improvement of Indian dwarf wheat from the VIR collection.

Materials and methods. The research materials were five *T. sphaerococcum* accessions from the VIR collection, promising lines of Indian dwarf wheat released by the Tatar Research Institute of Agriculture, and regional reference cultivars. Conventional methods of spring bread wheat breeding were applied. Evaluation of main diseases was based on VIR's methodological guidelines. Baking qualities were assessed using generally accepted methods and standards adopted in Russia.

Results. The work resulted in producing competitive lines of *T. sphaerococcum* which surpassed the original accessions in yield and resistance to main fungal diseases, but their grain yield was lower than that of the reference bread wheat cultivar 'Yoldyz'. High flour and grain quality levels of Indian dwarf wheat were confirmed. A patent was obtained for the Indian dwarf wheat cultivar 'Sakara'.

Keywords: fungal diseases, yield structure components, yield, quality, wheat modifier

Acknowledgments: the research was performed within the frameworks of the state tasks according to the theme plans of: VIR, Project No. FGEM-2022-009 "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";

Tatar Research Institute of Agriculture, KazSC RAS, "Ecogenetic approaches to the development and conservation of plant and animal resources, expansion of their adaptive potential and biodiversity, and development of conservation agrotechnologies in order to increase the production sustainability of high-quality products and achieve safety for human health and the environment", and the project "Development of Indian dwarf wheat genotypes valuable for breeding".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Askhadullin Dam.F., Askhadullin Dan.F., Vasilova N.Z., Tazutdinova M.R., Khusainova I.I., Gayfullina G.R., Kirillova E.S., Lysenko N.S. Breeding improvement of spring Indian dwarf wheat *Triticum sphaerococcum* Percival under the conditions of the Middle Volga Region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):21-32. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-21-32

Введение

Пшеница шарозерная (*Triticum sphaerococcum* Per-cival) – гексаплоидный голозерный вид пшеницы с характерной шаровидной формой зерновки (Dorofeev et al., 1987). Основной интерес к виду обусловлен высокими мукомольно-хлебопекарными качествами, высоким содержанием белка и клейковины в зерне. Отсутствие значительного рыночного и государственного регулирования цен на сорта и виды пшеницы премиального качества сдерживает селекционную работу с шарозерной пшеницей, так как основной показатель современного сорта – зерновая продуктивность, которая у данного вида ниже, чем у мягкой и твердой пшеницы. В связи с комплексом полезных свойств *T. sphaerococcum* вовлечена в селекционную работу в России и других странах. С 2012 г. в рамках проектов государственных заданий ведется поиск и создание яровых форм, адаптивных к условиям Средневолжского региона. В Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, включены сорта озимой шарозерной пшеницы ‘Шарада’, ‘Еремеевна’, ‘Прасковья’ и ‘Ордынка’, созданные научным коллективом Национального центра зерна (НЦЗ) им. П.П. Лукьяненко (РФ, Краснодарский край). В Польше выведен сорт яровой шарозерной пшеницы ‘Trispa’, защищенный национальным патентом и являющийся продуктом консорциума Ancient Grain (Szczerpanek et al., 2020). В Индии возделывается современный сорт пшеницы с шаровидной зерновкой HD2851 (Pusa Vishesh) (Singh et al., 2007). Селекционные учреждения работают с различными источниками «шарозерности», например в НЦЗ им. Лукьяненко в качестве исходного материала использовалась мутантная шарозерная линия от скрещивания озимой мягкой и твердой пшениц (Bespalova et al., 2015), в Индии – стародавний образец *T. sphaerococcum*.

На сегодняшний день известны три аллеля гена *S-D1*, детерминирующих формирование округлой зерновки у пшеницы. Аллельный вариант *S-D1b* уникален, он детерминирует шарозерность только у образцов шарозерной пшеницы Индии и Пакистана (McIntosh et al., 2000). Эти образцы были выбраны нами в качестве доноров для создания сортов яровой шарозерной пшеницы с высокими технологическими качествами для условий Средневолжского региона.

Цель исследований – оценить созданные линии яровой шарозерной пшеницы по устойчивости к грибным болезням, провести анализ элементов продуктивности полученных линий, оценить соответствие зерна по хлебопекарным и мукомольным свойствам классификационным требованиям «пшеница улучшитель».

Материалы и методы

Полевые опыты были проведены в 2012–2021 гг. на полях экспериментальной базы Татарского НИИСХ, находящихся в северной части Среднего Поволжья (лесистое Татарское Предкамье). Почва опытного участка серая-лесная, тяжелосуглинистая, хорошо окультуренная, реакция почвенного раствора слабокислая – нейтральная. Объектами исследований служили пять образцов *T. sphaerococcum* из Индии (к-23769, к-33748, к-33750) и Пакистана (к-33767, к-45738), полученных из коллекции редких видов пшеницы ВИР, и линии яровых шарозерных пшениц селекции Татарского НИИСХ, обозначаемые индексом Sh. Сортами-стандартами были ‘Са-

кара’, ‘Казанская Юбилейная’, ‘Тулайковская 10’ и ‘Йолдыз’. В качестве материнской формы для улучшения шарозерных образцов была использована устойчивая к мучнистой росе и бурой ржавчине линия яровой мягкой пшеницы К-350-10 селекции Татарского НИИСХ.

Изучение и селекционная проработка материала осуществлялись на основе стандартных методик (Gulyaev, Guzhev, 1987; Askhadullin et al., 2021). Фенологические наблюдения, учеты густоты стояния растений и устойчивости к полеганию проводили по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (Methodology of state..., 1989).

Поражение растений основными болезнями оценивали в соответствии с методическими указаниями (Radchenko, 2008). Устойчивость на естественном инфекционном фоне к мучнистой росе (*Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Marchal) определяли в фазы «кущение – выход в трубку», «начало колошения» и «молочная спелость» в процентах (Sanin et al., 2008). Степень поражения бурой ржавчиной (возбудитель – *Puccinia triticina* Erikss. (*P. recondita* Rob. ex Desm f. sp. *tritici* Erikss. et Henn.) и стеблевой ржавчиной (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Erikss. et Henn.) определяли по шкале R.F. Peterson et al. (1948) в процентах. Мукомольно-хлебопекарное качество зерна оценивали в лаборатории технологии зерна института: содержание белка в зерне на автоматическом анализаторе UDK 152 (VELP Scientifica, Италия) (GOST 10846-91..., 2009); стекловидность на диафаноскопе ДСЗ-2М (Россия) (GOST 10987-76..., 2009); натуру зерна на пурке ПХ-1 (Россия) объемом 1 литр (GOST 10840-64..., 2009); количество клейковины методом ручной отмывки, качество клейковины на приборе ИДК-1 (Россия) (GOST R 54478-2011..., 2012); реологические свойства теста на приборах: альвеограф NG (Chopin Technologies, Франция) (GOST R 51415-99..., 2007) и фаринограф Е (Brabender GmbH & Co KG, Германия) (GOST R 51404-99..., 2007). Хлебопекарную оценку проводили по лабораторным выпечкам без добавления сахара и улучшителей с использованием шкафа расстоечного ШРЛ-065 и шкафа хлебопекарного ШХЛ-065 СПУ (Россия) (GOST 27669-88..., 2007). Для экспресс-тестирования образцов на содержание белка и клейковины в зерне использовали ИК-анализатор Infratec 1275 (FOSS, Дания) (GOST ISO 12099-2017..., 2020). Структуру урожая оценивали методом разбора снопового материала по методике ВИР (Merezhko et al., 1999).

Статистическую обработку результатов исследований проводили на основании рекомендаций, описанных в методике полевого опыта Б. А. Доспехова (Dospikhov, 1985), связь между показателями – с помощью корреляционного отношения Пирсона. Погодные условия представлены агрометеостанцией, находящейся на территории экспериментальной базы Татарского НИИСХ.

Условия проведения опытов

Среднегодовое погодные условия региона благоприятны для возделывания яровых зерновых. Зима холодная, снежная, без частых оттепелей. Лето жаркое, осадки распределяются в течение вегетационного периода неравномерно, часты июльские засухи, когда идет налив зерна пшеницы.

Метеоусловия в период изучения коллекционных образцов шарозерной пшеницы (с 2012 по 2021 г.) имели характерные особенности. До 2017 г. резких колебаний погодных условий в летний период не наблюдалось, в среднем они соответствовали среднегодовым зна-

чениям. С 2017 г. условия весенне-летней вегетации были резко контрастными: 2017 и 2019 г. – с избыточным увлажнением, 2021 г. – экстремально засушливым. Подробная характеристика погодных условий в работе приводится на примере последних пяти лет, резко отличающихся по водно-температурному режиму в период вегетации (табл. 1).

Погодные условия 2017 г. были нетипичными в сравнении со среднемноголетними значениями. В мае среднесуточная температура воздуха составила 10,2°C, что холоднее нормы на 2,8°C. Только в начале II декады июня

среднесуточная температура воздуха перешла через +15,0°C и держалась в этих пределах до середины июля. До конца августа максимальная температура изредка поднималась до 30–31°C. Осадки распределялись в течение вегетационного периода неравномерно. В мае выпало 25 мм осадков, при этом ГТК составил 1,32. В июне выпала среднемесячная норма осадков (65 мм), при этом дождливыми были 15 дней, ГТК составил 1,51, то есть создались условия достаточного увлажнения. В I декаде июля прошли сильные ливни – 79 мм осадков. Сложившиеся погодные условия с пониженными температура-

Таблица 1. Характеристика погодных условий, 2017–2021 гг.

Table 1. Characteristics of weather conditions, 2017–2021

Показатели	Май			Июнь			Июль			Август	
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II
2017											
Среднесуточная температура воздуха, °С	10,3	9,3	11,0	12,0	17,2	16,2	16,8	20,5	21	20,1	16,0
Сумма осадков, мм	14,6	6	5	20	30	15	79	11	6	7	1
ГТК	1,3			1,5			1,6			0,2	
2018											
Среднесуточная температура воздуха, °С	12,6	16,3	13,6	12,8	15,2	22,0	22,9	22,2	23,9	20,7	19,4
Сумма осадков, мм	8	0	12	25	9,5	4,5	10	28	0	2	6
ГТК	0,5			0,8			0,5			0,2	
2019											
Среднесуточная температура воздуха, °С	15,9	17,2	15,6	19,3	17,8	18,9	17,3	20,1	17,7	14,5	18,5
Сумма осадков, мм	8	18	15	15	2	25	14,5	37	20	90	3
ГТК	0,9			0,7			1,3			2,8	
2020											
Среднесуточная температура воздуха, °С	14,7	10,8	14,6	16	18,6	15,2	23,6	22,6	20	18,8	14,0
Сумма осадков, мм	11	30	19	30	4	1	8	1	23	25	50
ГТК	1,7			0,7			0,5			2,3	
2021											
Среднесуточная температура воздуха, °С	13,7	22,8	17,4	17,7	21,2	27,6	22,3	23,7	19,9	23,1	–
Сумма осадков, мм	11	0	6	0	3	7,5	4	10	17,5	9,5	–
ГТК	0,3			0,2			0,5			–	
Среднемноголетние значения											
Среднесуточная температура воздуха, °С	10,9	13,0	14,8	16,0	17,1	18,3	19,3	19,7	19,5	18,7	17,4
Сумма осадков, мм	11	11	12	20	21	21	20	20	19	19	18

ми в начале вегетации и дождливыми днями в течение лета увеличили продолжительность межфазного периода «посев – полная спелость» в среднем на 7–10 дней.

Год 2018 был близок по температурному режиму и влагообеспечению к среднемноголетним значениям. Май оказался засушливым, ГТК составил 0,33. Ситуация с погодой улучшилась в начале июня: в первую декаду июня выпало 25 мм осадков, или 125% от нормы. Среднесуточная температура воздуха в июне была ниже нормы на 2,2°C и составила лишь 14,9°C. В июле, во время колошения, осадки выпадали неравномерно, среднесуточная температура в этот период была 23°C и превышала норму на 3,5°C. Начало и середина августа были сухими и теплыми: выпало всего 13 мм осадков.

В 2019 г. погодные условия характеризовались аномально избыточным увлажнением. В период от всходов до полного кущения ГТК составил 1,04, что характеризуется достаточной степенью увлажнения. В июле и ав-

густа выпало 105 мм осадков, что составляло 142% от нормы, при этом температура воздуха была на уровне среднемноголетних значений.

Год 2021 отличался экстремально засушливыми условиями, количество осадков, выпавших за июнь и две декады июля, в общем составило 16,5 мм при норме одной декады июня 20 мм. ГТК за все месяцы вегетации в среднем составил 0,33, то есть соответствовал условиям крайней засухи.

Ранее нами было показано, что в нашей зоне на уровень урожайности рекомендованных к возделыванию сортов яровой мягкой пшеницы сильно влияет водно-температурный режим мая – июня, в этот период закладываются генеративные органы, проходит межфазный период «всходы – колошение» (Vasilova et al., 2015). Такая же тенденция прослеживается и по образцам яровой шарозерной пшеницы, коэффициент корреляции составил $0,69^{***} \pm 0,09$ (рисунок).

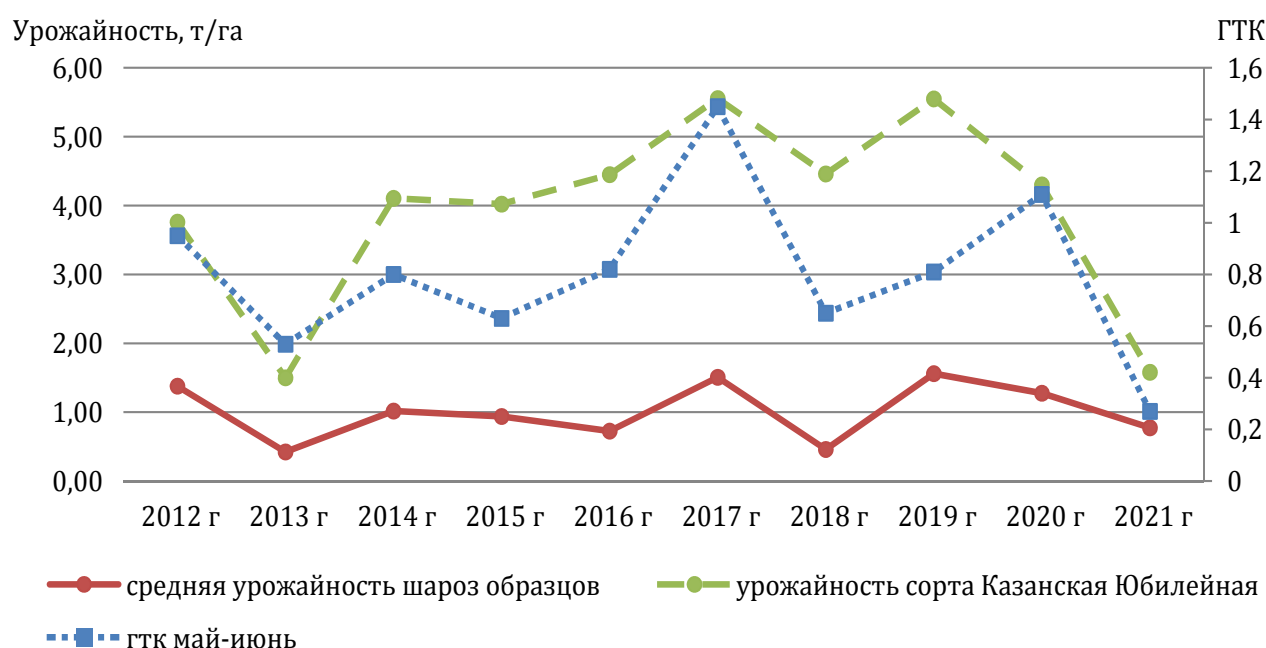


Рисунок. Гидротермический коэффициент (ГТК) мая – июня и средняя урожайность образцов *Triticum sphaerococcum* Percival

Figure. Hydrothermal coefficient (HTC) for May-June and average yield of *Triticum sphaerococcum* Percival accessions

густе наблюдалось избыточное увлажнение. Средняя температура июля (18,4°C) – на уровне среднемноголетних значений, но осадков выпало 71,5 мм, что выше нормы на 21%. В I и II декадах августа среднесуточная температура воздуха составляла 16,5°C при норме 18,1°C, за I–II декаду августа выпало 93 мм осадков, на 151% выше нормы.

Погодные условия в 2020 г. также имели свои характерные особенности, но в целом соответствовали климатической зоне. Первая декада мая была благоприятной для получения хороших всходов: температура выше среднемноголетних значений на 3,8°C, осадки – на уровне среднемноголетних значений. Во II и III декадах мая выпало 49 мм осадков (148% от нормы), среднесуточная температура была на 2,2°C ниже нормы. С 5 июня по 22 июля выпало лишь 24 мм осадков небольшими порциями по 3–5 мм, при этом среднесуточная температура за этот период была на 1,4°C выше нормы. За III декаду

Результаты и обсуждение

Предселекционное изучение коллекционных образцов шарозерной пшеницы указывает на их низкую зерновую продуктивность в сравнении с широко возделываемыми сортами яровой мягкой пшеницы 'Казанская Юбилейная' и 'Тулайковская 10', «сильными» по качеству. Продуктивность образцов шарозерной пшеницы в среднем по годам ниже на 72–73%. Во все годы отмечается сильное поражение мучнистой росой, в годы эпифитотий – бурой и стеблевой ржавчинами; эпифитотии желтой ржавчины и полегание посевов не отмечались во все годы наблюдений. Наступление фазы «колошение» у изучаемых образцов соответствовало среднепоздней группе сортов (табл. 2).

Скрининг образцов на восприимчивость к грибным листовым болезням за все годы показал сильную восприимчивость шарозерной пшеницы к мучни-

Таблица 2. Характеристика образцов *Triticum sphaerococcum* Percival из коллекции ВИР по хозяйственно ценным признакам (Казань, 2012–2021 гг.)**Table 2. Useful agronomic character values for *Triticum sphaerococcum* Percival accessions from the VIR collection (Kazan, 2012–2021)**

№ по каталогу ВИР	Происхождение	Степень поражения, %			Продолжительность периода «всходы – колошение», дней	Урожайность, т/га	
		<i>Blumeria graminis</i>	<i>Puccinia triticina</i>	<i>Puccinia graminis</i>		<i>lim</i>	$\bar{X}$
23769	Индия	15–100	15–80	35–70	41–52	0,31–1,45	0,86
33748	Индия	10–100	5–80	10–70	41–49	0,34–2,26	1,14
33750	Индия	10–100	10–60	20–80	41–49	0,39–2,23	1,3
33767	Пакистан	25–100	10–80	20–70	42–53	0,38–1,79	1,09
45738	Пакистан	15–100	5–70	20–50	40–53	0,26–1,19	0,65
$\bar{X}$					45		1,01
Казанская Юбилейная		10–40	10–50	20–30	40–51	1,50–5,55	3,93
Тулайковская 10		5–65	0–3	10–15	36–51	1,30–5,50	3,59

Примечание: $\bar{X}$ – арифметическая средняя; *lim* – верхний и нижний пределNote: $\bar{X}$ – arithmetic mean; *lim* – upper and lower limits

стой росе. Аналогичные результаты были получены при искусственном заражении популяциями гриба из различных регионов СССР и на инфекционных фонах (Krivchenko, Sukhanberdina, 1977). Как и в опытах других исследователей, подтвердилась высокая восприимчивость к бурой и стеблевой ржавчине (Yakubtsiner, Dorofeev, 1969; Volkova et al., 2017). В связи с этим в большинстве комбинаций скрещиваний в качестве одного из родителей использовали селекционную линию или продуктивный сорт мягкой пшеницы, иммунный или слабо-восприимчивый к фитопатогенам. При гибридизации *T. sphaerococcum* с *T. aestivum* ожидаемо не выявлено генетической несовместимости.

Первым удачным результатом таких комбинаций стали сестринские линии Sh-359-11-1, Sh-359-11-2, Sh-359-11-5 и Sh-359-11-6, полученные от скрещивания образца к-45738 (*T. sphaerococcum*, Пакистан) с невосприимчивой к мучнистой росе и бурой ржавчине линией K-350-10. Эти линии отличались более высокой урожайностью, меньшей восприимчивостью к грибным листовым болезням. Практически все полученные линии по скороспелости отнесены нами в группу среднепоздних, кроме линии Sh-359-11-2 (среднеспелая группа). Линия Sh-359-11-5 имеет преимущество над другими линиями по продуктивности, но уступает стандартному для зоны высокопродуктивному сорту яровой мягкой пшеницы 'Йолдыз' на 34,4%. Линия Sh-359-11-5 на естественном инфекционном фоне слабо восприимчива к бурой ржавчине и умеренно восприимчива к стеблевой ржавчине и мучнистой росе. У всех линий урожайность за годы испытания стабильна, коэффициент вариации не превышает 24% (табл. 3).

Элементы структуры урожая созданных линий и возделываемых в регионе сортов яровой мягкой пшеницы сильно различаются: растения линий низкорослые, не превышают в среднем 54,1 см; имеют небольшую сред-

нюю длину подколосовой части стебля, которая варьирует от 13 до 26 см; коэффициент плотности колосов (по Персивалю) применительно к виду *T. sphaerococcum* соответствует колосам рыхлым или средней плотности; зерновка формируется мелкая, масса 1000 зерен не превышает 29 г (табл. 4).

Для решения тактических задач селекционного улучшения и обоснования фенотипической модели оптимального для зоны сорта шарозерной пшеницы было проведено изучение вклада основных элементов структуры урожая в зерновую продуктивность. По изученным параметрам, у созданных линий имеется существенная связь урожайности зерна с высотой растения ($r = 0,73 \pm 0,3^*$), массой 1000 зерен ($r = 0,73 \pm 0,03^{***}$) и озерненностью главного колоса ($r = 0,71 \pm 0,03^{***}$). Продуктивная кустистость не вносит ощутимый вклад в продуктивность растения, формируются в основном растения с одним продуктивным стеблем, что также свойственно сортам яровой мягкой пшеницы, возделываемым в регионе (Vasilova et al., 2015). Плотность колоса у *T. sphaerococcum* оказывает непосредственное влияние на зерновую продуктивность, особенно у образцов, имеющих меньшую массу 1000 зерен, где сопряженность с урожайностью достигает $r = -0,81 \pm 0,1^{***}$; следовательно, предпочтительнее формирование более рыхлого колоса. Длина подколосовой части стебля до верхнего междоузлия в нашей погодно-климатической зоне является основным признаком засухоустойчивости растений яровой мягкой пшеницы и сильно коррелирует с урожайностью на богаре (Vyushkov et al., 2012). Корреляционная связь длины верхнего междоузлия с продуктивностью у изучаемых шарозерных линий варьирует от сильной до средней (табл. 5).

Приведенные данные указывают на возможность эффективной реконструкции растений вида. Для условий Средневолжского региона необходим отбор более высо-

Таблица 3. Характеристика линий *Triticum sphaerococcum* Percival по хозяйственно ценным признакам
(Казань, 2018–2020 гг.)**Table 3.** Useful agronomic character values for *Triticum sphaerococcum* Percival lines
(Kazan, 2018–2020)

Сорт / линия	Поражение болезнями в годы эпифитотий			Продолжитель- ность периода «всходы – колошение», дни	Средняя урожайность	
	<i>Blumeria graminis</i> интенсивность поражения, %	<i>Puccinia tritica</i> степень поражения, %	<i>Puccinia graminis</i> степень поражения, %		$\bar{X}$, т/га	C_v , %
Йолдыз, st	65	5	30	37–47	3,49	21
Сакара (Sh-359-11-5)	40	5	15	44–52	2,29	20
Sh-359-11-1	25	40	30	42–52	1,59	15
Sh-359-11-2	25	60	20	39–47	2,04	22
Sh-359-11-6	25	60	20	40–51	1,85	24
НСП _{0,5}					0,35	

Таблица 4. Характеристика основных элементов структуры урожая у селекционных линий, 2018–2020 гг.**Table 4.** Values of main yield structure components in breeding lines, 2018–2020

Сорт / линия	Высота растения		Длина верхнего междоузлия		Число зерен в главном колосе		Плотность колоса		Масса 1000 зерен	
	$\bar{X}$, см	C_v , %	$\bar{X}$, см	C_v , %	$\bar{X}$, шт	C_v , %	$\bar{X}$	C_v , %	$\bar{X}$, г	C_v , %
Йолдыз, st.	78,6	6	31,7	8	27,6	13	22	3	39,4	10
Сакара (Sh-359-11-5)	60,7	8	17,1	23	29,2	11	35	9	26,5	14
Sh-359-11-1	44,9	11	24,8	11	24,8	11	38	5	26,7	9
Sh-359-11-2	55,1	10	25,7	25	25,7	13	30	8	29,0	11
Sh-359-11-6	55,8	11	13	21	24,7	21	36	10	26,3	13
$\bar{X}$, Sh	54,1		20,1		26,1		35		27,1	

Примечание: C_v – коэффициент вариации; $\bar{X}$ – арифметическая средняя; $\bar{X}$, Sh – арифметическая средняя для шарозерных линийNote: C_v – coefficient of variation; $\bar{X}$ – arithmetic mean; $\bar{X}$, Sh – arithmetic mean for Indian dwarf wheat lines**Таблица 5.** Характер связи элементов структуры растения с урожаем зерна у селекционных линий**Table 5.** Relationships between yield structure components and grain yield in breeding lines

Сорт / линия	Число про- дуктивных побегов, шт.	Высота растений, см.	Длина под- колосовой части стеб- ля, см	Масса 1000 зерен, шт.	Плотность колоса	Число зерен в главном колосе, шт.
Сакара (Sh-359-11-5)	$0,53 \pm 0,11^{**}$	$0,88 \pm 0,06^{***}$	$0,76 \pm 0,08^{***}$	$0,89 \pm 0,06^{***}$	$-0,77 \pm 0,08^{***}$	$0,82 \pm 0,07^{***}$
Sh-359-11-1	$0,11 \pm 0,17^{*}$	$0,92 \pm 0,07^{***}$	$0,88 \pm 0,08^{***}$	$0,73 \pm 0,11^{***}$	$-0,64 \pm 0,13^{**}$	$0,88 \pm 0,08^{***}$
Sh-359-11-2	$0,021 \pm 0,17^{*}$	$0,38 \pm 0,15^{*}$	$0,73 \pm 0,11^{***}$	$0,67 \pm 0,12^{**}$	$-0,62 \pm 0,13^{**}$	$0,73 \pm 0,11^{***}$
Sh-359-11-6	$0,44 \pm 0,15^{**}$	$0,48 \pm 0,15^{*}$	$0,43 \pm 0,15^{*}$	$0,75 \pm 0,11^{***}$	$-0,81 \pm 0,1^{***}$	$0,43 \pm 0,15^{*}$
Средняя	$0,31 \pm 0,12^{*}$	$0,73 \pm 0,3^{*}$	$0,63 \pm 0,03^{***}$	$0,73 \pm 0,03^{***}$	$-0,64 \pm 0,03^{***}$	$0,71 \pm 0,03^{***}$

Примечание: * – уровень значимости 0,05; ** – уровень значимости 0,01; *** – уровень значимости 0,001

Note: * – significance level of 0.05; ** – significance level of 0.01; *** – significance level of 0.001

ких растений по сравнению с исходными образцами, растения должны иметь более рыхлый колос (коэффициент плотности колоса должен быть равен или меньше 30), необходимо стремиться к увеличению массы 1000 зерен и озерненности колоса.

Наша почвенно-климатическая зона благоприятна для стабильного получения зерна высокого качества (Vasilova et al., 2016), но увеличение доли в посевных площадях высокопродуктивных сортов, которые, за редким исключением, характеризуются посредственным качеством, отражается на хлебопекарных и биологических свойствах продуктов питания, получаемых из такого зерна. Возделывание высококачественной «сильной» пшеницы и использование ее для улучшения партий зерна удовлетворительного качества является одним из путей решения проблемы.

Известно, что *T. sphaerococcum* формирует урожай превосходящего качества. Результаты анализа, проведенного В. Г. Коняревым (Konarev, 1980), выявили содержание белка во всех коллекционных образцах *T. sphaerococcum* от 15,4 до 21,1% при сравнительно богатом содержании лизина (от 0,230 до 0,470 г на 100 г зерна). Содержание белка и клейковины является определяющим при включении сортов пшеницы в качественную группу. Исследованные нами образцы шарозерной пшеницы на ИК-анализаторе характеризуются повышенным содержанием белка и клейковины. Сорт мягкой пшеницы 'Тулайковская 10', являясь сортом-улучшителем для партий зерна плохого качества, несколько уступает шарозерным пшеницам по этим показателям (табл. 6).

риод уборки и от плодородия почвы. Несбалансированное почвенное питание и затягивание с уборкой в 2018 г. сказалось на уровне стекловидности зерна, которая не соответствовала классификационным нормам для сильной пшеницы; в 2019 г. стекловидность была на уровне сорта 'Тулайковская 10' и соответствовала «отличному улучшителю».

Содержание белка – наиболее информативный показатель целевого использования зерна. У линий шарозерной пшеницы этот показатель был значительным и колебался по годам от 16,6 до 18,4%.

Количество и качество клейковины – важнейшие факторы хлебопекарных свойств пшеницы. Содержание сырой клейковины в зерне в 2018 г. составило в среднем 29,7%, на уровне «удовлетворительного улучшителя». В 2019 г. изучаемые линии характеризуются высоким содержанием клейковины – от 32,1 до 38,9%, в пределах первой группы качества.

Разжижение теста у изучаемых линий шарозерной пшеницы соответствовало сортам-улучшителям только в 2018 г., типичном по погодным условиям для Средневолжского региона.

Водопоглощательная способность муки (ВПС) показывает количество воды, использованной на замес требуемой консистенции теста по шкале фаринографа. Этот показатель был меньше ограничительной нормы 63% только у линии Sh-359-11-2.

Валориметрическая оценка – величина площади, занимаемой под фаринограммой. В годы изучения валориметрическая оценка в среднем у линий шарозерной пше-

Таблица 6. Содержание белка и клейковины в зерне у образцов *Triticum sphaerococcum* Percival, 2017–2020 гг.

Table 6. Protein and gluten content in the grain of *Triticum sphaerococcum* Percival accessions, 2017–2020

№ по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Содержание белка, %		Содержание клейковины, %	
			$\bar{x}$	<i>lim</i>	$\bar{x}$	<i>lim</i>
63714	Тулайковская 10	Самарская обл.	14,1	13,2–15,0	27,2	22,9–30,5
23769	–	Индия	16,5	15,8–18,2	32,0	29,2–34,5
33748	Desi	Индия	17,6	16,6–18,2	35,5	32,1–37,5
33750	Desi	Индия	16,7	15,9–17,3	32,3	28,3–36,1
33767	–	Пакистан	15,1	14,3–16,1	31,9	29,2–34,6
45738	–	Пакистан	17,1	16,8–17,4	33,1	28,7–37,1

Примечание: $\bar{x}$ – арифметическая средняя; *lim* – верхний и нижний предел

Note: $\bar{x}$ – arithmetic mean; *lim* – upper and lower limits

В течение двух лет у созданных линий *T. sphaerococcum* исследовали мукомольно-хлебопекарные качества в сравнении с сортом мягкой пшеницы 'Тулайковская 10', характеризующимся отличными хлебопекарными свойствами (табл. 7).

Натура зерна является одним из критериев качества зерна. Все испытанные линии уступают по этому показателю сорту 'Тулайковская 10'. Натурный вес зерна во влажном 2019 г. у образцов шарозерной пшеницы сильно снизился, только более скороспелая линия Sh-359-11-2 соответствовала нормам для пшеницы-улучшителя.

Показателем качества зерна является общая стекловидность, сильно зависящая от погодных условий в пе-

ницы соответствовала сортам-улучшителям и составила в 2018 г. 91 е. вал., в 2019 г. – 73 е. вал.

Сила муки у созданных линий значительная, соответствующая пшеницам-улучшителям. Максимальная сила муки отмечена у сорта 'Сакара' урожая 2019 г. (807 е.а.). На сбалансированность теста указывает отношение упругости к растяжимости, которая соответствовала «пшеницам-улучшителям» у линий шарозерной пшеницы в 2019 г. В 2018 г. по этому показателю пшенице-улучшителю соответствовала только линия Sh-359-11-2.

Полученные линии шарозерной пшеницы по большинству показателей соответствуют «отличному улучшителю». Низкая натурная масса зерна косвенно указы-

Таблица 7. Показатели качества линий *Triticum sphaerococcum* PercivalTable 7. Quality indicators of *Triticum sphaerococcum* Percival lines

Сорт / линия	Натура, г/л	Общая стекловидность, %	Белок, %	Количество сырой клейковины, %	Качество клейковины, е. ИДК	Разжижение теста, е. ф.	ВПС, %	Валориметрическая оценка, е. вал.	Сила муки, W e. а.	Показатель формы кривой алев. (P/L)
Урожай 2018 г.										
Тулайковская 10	822	62	14,5	26,8	–	25	62	81	409	0,6
Сакара (Sh-359-11-5)	799	51	16,6	28,5	–	25	65,1	95	332	3,1
Sh-359-11-1	789	52	17,6	28,9	–	30	68,9	91	369	2,5
Sh-359-11-2	802	52	17,0	30,1	–	35	61,6	85	295	1,9
Sh-359-11-6	798	53	17,3	31,2	–	30	65,5	92	334	2,9
Урожай 2019 г.										
Тулайковская 10	823	75	14,3	27,8	–	–	–	–	–	–
Сакара (Sh-359-11-5)	720	76	18,3	36,3	69	58	71,1	67	807	1,5
Sh-359-11-1	749	68	18,4	38,9	77	43	68,0	78	465	1,2
Sh-359-11-2	760	62	16,8	32,1	79	50	61,1	71	313	0,8
Sh-359-11-6	745	73	16,8	33,7	73	58	64,5	77	537	1
Классификационные нормы для «сильной» пшеницы, используемые для характеристики сортов пшеницы по хлебопекарным качествам										
Отличный улучшитель	≤ 750	≤ 60	≤ 16	≤ 32	45–75	> 30	≤ 63	≤ 85	≤ 500	0,8–1,5
Хороший улучшитель	≤ 750	≤ 60	≤ 15	≤ 30	45–75	> 50	≤ 63	≤ 80	≤ 400	0,8–1,5
Удовлетворительный улучшитель	≤ 750	≤ 60	≤ 14	≤ 28	45–75	> 60	≤ 63	≤ 70	≤ 280	0,7–2,0

вает на небольшой выход муки, что не согласуется с данными многих авторов о высоком выходе муки из зерна шарозерных пшениц. Общая хлебопекарная оценка при выпечке без улучшителей в среднем за два контрастных по погодным условиям года составила 4,6 балла и соответствовала «хорошему улучшителю».

Заключение

Проведенное селекционное улучшение эндемичных образцов *T. sphaerococcum* указывает на значительные сдвиги в повышении урожайности созданных линий. Значительно снизилась восприимчивость к основным грибным болезням. Корреляционный анализ структурных элементов продуктивности полученных линий шарозерной пшеницы выявил тесные связи с урожайностью. Повышение урожайности идет в основном за счет увеличения массы зерновок и количества зерен в главном колосе. Эти признаки должны постоянно находиться под давлением отбора. В гибридном потомстве шарозерной пшеницы при отборах растений необходимо также уделять внимание более высоким растениям со средней высотой не менее 60 см, отдавать предпочтение рыхлым

колосам. У созданных линий шарозерной пшеницы формируется урожай отличного качества, соответствующий по большинству показателей «отличному улучшителю».

На основании многолетнего изучения созданных линий был выведен и передан на Государственное сортоиспытание сорт яровой шарозерной пшеницы 'Сакара', который включен в 2019 г. в список охраняемых селекционных достижений (Vasilova et al., 2021).

References / Литература

- Askhadullin Danil F., Askhadullin Damir F., Vasilova N.Z., Lysenko N.S. Prospects of creating Indian dwarf wheat varieties *Triticum sphaerococcum* Perciv. based on samples endemic to the Hindustan peninsula. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2021;81(3):383-391. DOI: 10.31742/IJGPB.81.3.5
- Bespalova L.A., Borovik A.N., Kolesnikov F.A., Miroshnichenko T.Yu. Stages and results of breeding of *sphaerococcum tritcale* (*T. sphaerococcum* Perc.) in Krasnodar RIA after P.P. Lukyanenko. *Grain Economy of Russia*. 2015;(2):40-44. [in Russian] (Беспалова Л.А., Боровик А.Н., Колес-

- ников Ф.А., Мирошниченко Т.Ю. Этапы и результаты селекции шарозерной пшеницы (*T. sphaerococcum* Перс.) в Краснодарском НИИСХ им. П.П. Лукьяненко. *Зерновое хозяйство России*. 2015;(2): 40-44).
- Dorofeev V.F., Filatenko A.A., Migushova E.F., Udachin R.A., Yakubtsiner M.M. Flora of cultivated plants. Vol. 1. Wheat (Kulturnaya flora SSSR. T. 1. Pshenitsa). D.D. Brezhnev (ed.). Leningrad: Kolos; 1979. [in Russian] (Дорофеев В.Ф., Филатенко А.А., Мигушова Э.Ф., Удачин Р.А., Якубцинер М.М. Культурная флора СССР. Т. 1. Пшеница / под ред. Д.Д. Брежнева. Ленинград: Колос; 1979).
- Dorofeev V.F., Udachin R.A., Semenova L.V., Novikova M.V., Gradchaninova O.D., Shitova I.P., Merezkhko A.F., Filatenko A.A. Wheats of the world: species composition, breeding achievements, modern problems, and source material (Pshenitsy mira: vidovoy sostav, dostizheniya selektsii, sovremennyye problemy i iskhodny material). V.F. Dorofeev (ed.). 2nd ed. Leningrad; 1987. [in Russian] (Дорофеев В.Ф., Удачин Р.А., Семенова Л.В., Новикова М.В., Градчанинова О.Д., Шитова И.П., Мережко А.Ф., Филатенко А.А. Пшеницы мира: видовой состав, достижения селекции, современные проблемы и исходный материал / под ред. В.Ф. Дорофеева. 2-е изд. Ленинград: Агропромиздат; 1987).
- Dospikhov V.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов В.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- GOST 10840-64. Interstate standard. Grain. Methods for determination of hectolitre weight. Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ 10840-64. Межгосударственный стандарт. Зерно. Методы определения натурности. Москва: Стандартинформ; 2009). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023848> [дата обращения: 10.02.2022].
- GOST 10846-91. Interstate standard. Grain and products of its processing. Method for determination of protein. Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ 10846-91. Межгосударственный стандарт. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. Москва: Стандартинформ; 2009). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023864> [дата обращения: 10.02.2022].
- GOST 10987-76. Interstate standard. Grain. Methods for determination of vitreousness. Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ 10987-76. Межгосударственный стандарт. Зерно. Методы определения стекловидности. Москва: Стандартинформ; 2009). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024313> [дата обращения: 10.02.2022].
- GOST 27669-88. Interstate standard. Wheat bread flour. Method for experimental laboratory breadmaking. Moscow: Standartinform; 2007. [in Russian] (ГОСТ 27669-88. Межгосударственный стандарт. Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба. Москва: Стандартинформ; 2007). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022388> [дата обращения: 10.02.2022].
- GOST ISO 12099-2017. Interstate standard. Feed, grain and food processing. Guidelines for the application of near infrared spectrometry. Moscow: Standartinform; 2020. [in Russian] (ГОСТ ISO 12099-2017. Межгосударственный стандарт. Корма, зерно и продукты его переработки. Руководство по применению спектрометрии в ближней инфракрасной области. Москва: Стандартинформ; 2020). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200157441> [дата обращения: 10.02.2022].
- GOST R 51404-99 (ISO 5530-1-97). State standard of the Russian Federation. Wheat flour. Physical characteristics of doughs. Determination of water absorption and rheological properties using a farinograph. Moscow: Gosstandart Rossii; 2007. [in Russian] (ГОСТ Р 51404-99 (ISO 5530-1-97). Государственный стандарт Российской Федерации. Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Определение водопоглощения и реологических свойств с применением фаринографа. Москва: Госстандарт России; 2007). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200028477> [дата обращения: 11.02.2022].
- GOST R 51415-99 (ISO 5530-4-91). State standard of the Russian Federation. Wheat flour. Physical characteristics of doughs. Determination of rheological properties using an alveograph. Moscow: Standartinform; 2007. [in Russian] (ГОСТ Р 51415-99 (ISO 5530-4-91). Государственный стандарт Российской Федерации. Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Определение реологических свойств с применением альвеографа. Москва: Стандартинформ; 2007). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200028483> [дата обращения: 10.02.2022].
- GOST R 54478-2011. National standard of the Russian Federation. Grain. Methods for determination of quantity and quality of gluten in wheat. Moscow: Standartinform; 2012. [in Russian] (ГОСТ Р 54478-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. Москва: Стандартинформ; 2012). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200087804> [дата обращения: 11.02.2022].
- Gulyaev G.V., Guzhov Yu.L. Breeding and seed growing of field crops (Selektsiya i semenovodstvo polevykh kultur). Moscow: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Гуляев Г.В., Гужов Ю.Л. Селекция и семеноводство полевых культур. Москва: Агропромиздат; 1987).
- Konarev V.G. Wheat proteins (Belki pshenitsy). Moscow: Kolos; 1980. [in Russian] (Конарев В.Г. Белки пшеницы. Москва: Колос; 1980).
- Krivchenko V.I., Sukhanberdina E.Kh. Physiological races of the fungus *Erysiphe graminis* DC. f. sp. *tritici* Marchal in the USSR (Fiziologicheskiye rasy griba *Erysiphe graminis* DC. f. sp. *tritici* Marchal na territorii SSSR). *Mycology and Phytopathology*. 1977;11(3):245-247. [in Russian] (Кривченко В.И., Суханбердина Е.Х. Физиологические расы гриба *Erysiphe graminis* DC. f. sp. *tritici* Marchal на территории СССР. *Микология и фитопатология*. 1977;11(3):245-247).
- McIntosh R.A., Devos K.M., Dubcovsky J., Rogers W.J. Catalogue of gene symbols for wheat: 2000 Supplement. *Wheat Information Service*. 2000;91:33-70.
- Merezkhko 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. Guidelines for the study of the world collection of wheat, *Aegilops* and triticale (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu mirovoy kollektsii pshenitsy, egilopsa i tritikale). A.F. Merezkhko (ed.). St. Petersburg: VIR; 1997. [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., Наврузбеков Н.А., Богуславский Р.Л., Абдулаева А.К., Чикида Н.Н., Митрофанова О.П., Потоккина 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).
- Methodology of state crop variety trials. Second issue. Cereals, groats, legumes, maize, and fodder crops (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystven-

- nykh kultur. Vypusk vtoroy. Zernovye, krupyanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kultury). Moscow: Gosagroprom SSSR; 1989. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. Москва: Госагропром СССР; 1989).
- Peterson R.F., Campbell A.B., Hannah A.E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. *Canadian Journal of Research*. 1948;26(5):496-500. DOI: 10.1139/cjr48c-033
- Radchenko E.E. (ed.). Study of cereal crop genetic resources for resistance to pathogenic organisms. Guidelines (Izucheniye geneticheskikh resursov zernovykh kultur po ustoychivosti k vrednym organizmam. Metodicheskoye posobiye). Moscow: Rosselkhozakademiya; 2008. [in Russian] (Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. Методическое пособие / под ред. Е.Е. Радченко. Москва: Россельхозакадемия; 2008).
- Sanin S.S., Neklesa N.P., Sanina A.A., Pakholkova E.V. Methodological recommendations for making infected backgrounds for immunogenetic studies of wheat (Metodicheskiye rekomendatsii po sozdaniyu infektsionnykh fonov dlya immunogeneticheskikh issledovaniy pshenitsy). Moscow; 2008. [in Russian] (Санин С.С., Неклеса Н.П., Санина А.А., Пахолкова Е.В. Методические рекомендации по созданию инфекционных фонов для иммуногенетических исследований пшеницы. Москва; 2008).
- Singh B., Tomar S.M.S., Vinod, Sivasamy M., Chowdhary S. Notification of crop varieties and registration of germplasm. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2007;67:305-306.
- Szczepanek M., Lemańczyk G., Lamparski R., Wilczewski E., Graczyk R., Nowak R. et al. Ancient wheat species (*Triticum sphaerococcum* Perc. and *T. persicum* Vav.) in organic farming: influence of sowing density on agronomic traits, pests and diseases occurrence, and weed infestation. *Agriculture*. 2020;10(11):556. DOI: 10.3390/agriculture10110556
- Vasilova N. Z., Askhadullin D. F., Askhadullin D. F., Bagavieva E. Z., Tazutdinova M.R., Khusainova I.I. et al. Influence of growth conditions on formation of spring wheat productivity. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2015;29(11):41-43. [in Russian] (Василова Н.З., Асхадуллин Д.Ф., Асхадуллин Д.Ф., Багавиева Э.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И. и др. Влияние условий выращивания на формирование урожайности яровой мягкой пшеницы. *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(11):41-43).
- Vasilova N. Z., Askhadullin D. F., Askhadullin D. F., Bagavieva E. Z., Tazutdinova M.R., Nasihova G.R. et al. Formation of grain quality of spring soft wheat varieties. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2016;30(11):42-44. [in Russian] (Василова Н.З., Асхадуллин Д.Ф., Асхадуллин Д.Ф., Багавиева Э.З., Тазутдинова М.Р., Насихова Г.Р. и др. Формирование качества зерна сортов яровой мягкой пшеницы. *Достижения науки и техники АПК*. 2016;30(11):42-44).
- Volkova G.V., Kremneva O.Yu., Gladkova E.V., Vaganova O.F., Matveeva I.P., Astapchuk I.L., Khakimova A.G., Lysenko N.S., Mitrofanova O.P. Catalogue of the VIR global collection. Issue 837. Sources of age resistance of winter soft wheat (*Triticum aestivum* L.) and rare hexaploid wheat (*T. compactum* Host. and *T. sphaerococcum* Perciv.) to North Caucasian populations of fungal pathogens. St. Petersburg: VIR; 2017. [in Russian] (Волкова Г.В., Кремнева О.Ю., Гладкова Е.В., Ваганова О.Ф., Матвеева И.П., Астапчук И.Л., Хакимова А.Г., Лысенко Н.С., Митрофанова О.П. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 387. Пшеница. Источники возрастной устойчивости озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и редких гексаплоидных пшениц (*T. compactum* Host. и *T. sphaerococcum* Perciv.) к Северокавказским популяциям возбудителей грибных болезней. Санкт-Петербург: ВИР; 2017).
- Vyushkov A.A., Malchikov P.N., Syukov V.V., Shevchenko S.N. Breeding and genetic improvement of spring wheat (Selektionno-geneticheskoye uluchsheniye yarovoy pshenitsy). Samara: Samara Scientific Center of the RAS; 2012. [in Russian] (Вьюшков А.А., Мальчиков П.Н., Сюков В.В., Шевченко С.Н. Селекционно-генетическое улучшение яровой пшеницы. Самара: Самарский научный центр РАН; 2012).
- Yakubtsiner M.M., Dorofeev V.F. World wheat resources in the service of Soviet breeding (Mirovye resursy pshe-nitsy na sluzhbe sovetskoy selektsii). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1969;41(1):44-65. [in Russian] (Якубцинер М.М., Дорофеев В.Ф. Мировые ресурсы пшеницы на службе советской селекции. *Труды по прикладной ботанике генетике и селекции*. 1969;41(1):44-65).

Информация об авторах

Дамир Фидусович Асхадуллин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение КазНЦ РАН, 420059 Россия, Казань, Оренбургский тракт, 48, damir.askhadullin@knc.ru, tatnii-rape@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2711-7178>

Данил Фидусович Асхадуллин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение КазНЦ РАН, 420059 Россия, Казань, Оренбургский тракт, 48, tatnii-rape@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2606-6735>

Нурания Зуфаровна Василова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение КазНЦ РАН, 420059 Россия, Казань, Оренбургский тракт, 48, nurania59@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1135-486x>

Мухаббат Рустамджановна Тазутдинова, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение КазНЦ РАН, 420059 Россия, Казань, Оренбургский тракт, 48, tazutdinovamuhabbat@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4753-7644>

Ильсина Илнуровна Хусаинова, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение КазНЦ РАН, 420059 Россия, Казань, Оренбургский тракт, 48, husainovail823@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0369-6221>

Гульнар Ришатовна Гайфуллина, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение КазНЦ РАН, 420059 Россия, Казань, Оренбургский тракт, 48, trulik1917@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0942-8321>

Елена Семеновна Кириллова, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение КазНЦ РАН, 420059 Россия, Казань, Оренбургский тракт, 48, trulik1917@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2006-5525>

Наталья Сергеевна Лысенко, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 1900000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, n.lysenko@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5976-8634>

Information about the authors

Damir F. Askhadullin, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Tatar Research Institute of Agriculture, subdivision of the KazSC RAS, 48 Orenburgsky Tract, Kazan 420059, Russia, damir.askhadullin@knc.ru, tatnii-rape@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2711-7178>

Danil F. Askhadullin, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Tatar Research Institute of Agriculture, subdivision of the KazSC RAS, 48 Orenburgsky Tract, Kazan 420059, Russia, tatnii-rape@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2606-6735>

Nurania Z. Vasilova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Tatar Research Institute of Agriculture, subdivision of the KazSC RAS, 48 Orenburgsky Tract, Kazan 420059, Russia, nurania59@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1135-486x>

Muhabbat R. Tazutdinova, Researcher, Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Tatar Research Institute of Agriculture, subdivision of the KazSC RAS, 48 Orenburgsky Tract, Kazan 420059, Russia, tazutdinovamuhabbat@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4753-7644>

Ilsina I. Khusainova, Researcher, Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Tatar Research Institute of Agriculture, subdivision of the KazSC RAS, 48 Orenburgsky Tract, Kazan 420059, Russia, husainovail823@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0369-6221>

Gulnar R. Gayfullina, Associate Researcher, Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Tatar Research Institute of Agriculture, subdivision of the KazSC RAS, 48 Orenburgsky Tract, Kazan 420059, Russia, trulik1917@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0942-8321>

Elena S. Kirillova, Researcher, Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Tatar Research Institute of Agriculture, subdivision of the KazSC RAS, 48 Orenburgsky Tract, Kazan 420059, Russia, trulik1917@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2006-5525>

Natalia S. Lysenko, Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, n.lysenko@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5976-8634>

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 10.03.2022; одобрена после рецензирования 26.04.2022; принята к публикации 02.03.2023. The article was submitted on 10.03.2022; approved after reviewing on 26.04.2022; accepted for publication on 02.03.2023.

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 581.543:582.76/77+630*271

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-33-41

Влияние погодных условий на сезонный ритм развития
растений бархата амурского (*Phellodendron amurense* Rupr.)
в условиях лесостепи Приобья

Н. Н. Лихенко, Т. Н. Капко, А. П. Епанчинцева, И. Е. Лихенко

Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения
Российской академии наук, Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции,
Новосибирская обл., Россия

Автор, ответственный за переписку: Надежда Николаевна Лихенко, lihenko.n@yandex.ru

Актуальность. Бархат амурский – ценное древесное растение, имеющее большое народнохозяйственное значение. Его кора, луб, листья, плоды успешно используются в медицине и косметологии. Кроме того, он весьма декоративен, является хорошим медоносом и источником легкой пористой пробки. Благодаря своим свойствам и относительной неприхотливости может представлять интерес для интродукции. В связи с этим целью исследования было изучение особенностей влияния погодных условий на сезонный ритм развития растений бархата амурского (*Phellodendron amurense* Rupr.) в условиях лесостепи Приобья.

Материалы и методы. Материалом для исследования послужили 32 дерева бархата амурского, интродуцированных в условиях лесостепи Приобья. Фенологические наблюдения для оценки ритма сезонного развития проводили по методическим рекомендациям И. Д. Юркевича с соавторами. Для выявления зависимости ритма сезонного развития от погодных условий использовали коэффициент корреляции Пирсона (r).

Результаты. Результаты проведенных исследований подтверждают, что растения бархата амурского, произрастающие в дендрарии Сибирского научно-исследовательского института растениеводства и селекции – филиала Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, успешно адаптировались к условиям произрастания. Отмечено варьирование сроков прохождения фенофаз, особенно при раннем начале (2020 г.) и нехарактерном завершении (2018 г.) вегетации. Определена зависимость динамики развития от среднесуточной температуры воздуха, количества осадков и суммы эффективных температур.

Заключение. Установлено, что развитие бархата амурского в лесостепи Приобья проходит в соответствии с особенностями развития вида в пределах его естественного ареала.

Ключевые слова: интродукция, адаптация, природно-климатические условия, вегетация, фенофаза

Благодарности: работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Лихенко Н.Н., Капко Т.Н., Епанчинцева А.П., Лихенко И.Е. Влияние погодных условий на сезонный ритм развития растений бархата амурского (*Phellodendron amurense* Rupr.) в условиях лесостепи Приобья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):33-41. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-33-41

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-33-41

The effect of weather conditions on the seasonal rhythm of plant development of Amur cork tree (*Phellodendron amurense* Rupr.) in the forest-steppe of the Ob region

Nadezhda N. Likhenko, Tatiana N. Kapko, Anastasiya P. Epanchintseva, Ivan E. Likhenko

Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding, Novosibirsk Province, Russia

Corresponding author: Nadezhda N. Likhenko, lihenko.n@yandex.ru

Background. Amur cork tree is a valuable woody plant of great economic importance. Its bark, liber, leaves, and fruits are successfully used in medicine and cosmetology. This tree is very ornamental and serves as a good honey plant. It can be a potential source of industrial cork. Due to its properties and relative unpretentiousness, Amur cork tree may be of interest for introduction. In this regard, the aim of the research was to study the peculiarities of the influence of weather conditions on the seasonal rhythm of plant development for Amur cork tree (*Phellodendron amurense* Rupr.) under the conditions of the forest-steppe in the Ob region.

Materials and methods. Thirty two Amur cork trees were used as the material for the study. These trees were successfully introduced in the forest-steppe of the Ob region. Phenological observations to evaluate the rhythm of seasonal growth were carried out according to the methodological recommendations of I. D. Yurkevich and coauthors. The Pearson correlation coefficient (r) was used to identify the dependence of the rhythm of seasonal growth on weather conditions.

Results. The plants of Amur cork tree were found to be successfully adapted to the conditions of the arboretum of the Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding. It was shown that in the year with the highest sum of effective temperatures (2020), the duration of interphase periods was on average 2 days shorter than in other years. At the same time, in the coldest year (2018), the plants did not have time to complete their leaf fall before the snow cover appeared. The vegetation of Amur cork tree was observed to start in mid-May. The completion of the growing season varies greatly from year to year.

Conclusion. It was established that the seasonal development of Amur cork tree in the forest-steppe of the Ob region corresponded to the features specific to the development of this species within its natural range.

Keywords: introduction, adaptation, natural and climatic conditions, vegetation, phenological phase

Acknowledgements: this work was supported by the budgeted project of the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, No. FWNR-2022-0018.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Likhenko N.N., Kapko T.N., Epanchintseva A.P., Likhenko I.E. The effect of weather conditions on the seasonal rhythm of plant development of Amur cork tree (*Phellodendron amurense* Rupr.) in the forest-steppe of the Ob region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):33-41. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-33-41

Введение

Последние десятилетия характеризуются значительными изменениями климата, которые заметно проявляются в атмосферной нестабильности, в частоте и интенсивности экстремальных региональных явлений, что выражается в усилении водного стресса и более высокой пиковой летней жары и имеет решающее значение для прогнозирования реакции сибирских экосистем (Mokhov, 2020; Gorbatenko et al., 2020; Schaphoff et al., 2016).

В связи с этим под действием естественного отбора изучение и рациональное использование новых видов растений представляет большой интерес. Способность растений адаптироваться, в том числе с вступлением в генеративную фазу, дает возможность подбора ассортимента растений, устойчивых к природным условиям места их интродукции.

Анализ фенологических наблюдений с учетом температурного режима может быть применен к различным видам и моделям для изучения пространственных фенологических закономерностей и тенденций, а также для лучшего понимания влияния климата на растительные сообщества (Mehdipoor et al., 2020).

Фенологические наблюдения в зависимости от погодных условий позволяют выявить индивидуальные особенности растительных организмов. Знание температурных требований в развитии растений может использоваться для оценки адаптации и прогноза ряда аспектов в охране редких и обычных видов в практическом использовании (Ushakov, Nedosekina, 2017). Положительные температуры способствуют более активному весеннему развитию и имеют решающее значение в определении продолжительности вегетационного периода (Ren et al., 2020).

При подборе ассортимента видов и внутривидовых форм древесных растений для создания насаждений различного функционального назначения надо учитывать их отношение к конкретным условиям произрастания (Koropachinskiy et al., 2013). Наиболее перспективными для испытания в Сибири являются виды древесных растений, успешно произрастающие (естественно или искусственно) в областях, более холодных и близких по климату интродукции, с экологическими требованиями, соответствующими новым условиям выращивания. Особое внимание привлекает арборифлора Дальнего Востока, которая включает большое количество видов, характерных для более южных регионов Азии (Китай, Корея, Япония) и представленных в России наиболее северными популяциями, адаптированными к суровому климату (Koropachinskiy, 2011).

Бархат амурский (*Phellodendron amurense* Rupr.) принадлежит к семейству Рутовых (Rutaceae Juss.). Естественный ареал распространения – Дальний Восток (Приморье и южная часть Приамурья), северо-восточный Китай и Северная Корея (Nechaev, 2019). *Phellodendron amurense* – это вид с сокращающейся численностью, что соответствует категории и статусу 2 (Senchik, Malikova, 2020). Жизненная форма бархата амурского – листопадное дерево, в пределах естественного распространения достигающее высоты 25 м, при этом предельные размеры на юге ареала могут достигать 32 м в высоту и 1 м в диаметре ствола. Ствол и крупные ветки покрыты морщинистым слоем эластичной коры толщиной до 5 см, при этом каждый сантиметр нарастает в среднем за 50 лет (крайне редко – за 15–20 лет) (Makhrova, 2021; Ni-

kitenko, 2017). Листья супротивные, непарноперистосложные. Цветки мелкие, желтовато-зеленые, раздельнополюе, опыляются насекомыми. Плоды – черные блестящие шаровидные костянки. Листья, плоды и внутренний слой коры имеют резкий специфический запах (Nikitenko, 2017). Живет до 200 лет, в плодоношение вступает в зависимости от условий с 7–10 или 20–30 лет (Makhrova, 2021; Nechaev, 2019).

Бархат амурский – это ценнейшее растение, имеющее огромное значение для народного хозяйства. Амурское пробковое дерево является единственным в России дикорастущим пробконосом промышленного значения (Nikitenko, 2017). Все части растения нашли применение как в традиционной, так и в народной медицине (Nechaev, 2019). Внутренняя часть его коры идет на изготовление традиционного и очень востребованного в китайской промышленности желтого красителя (Luo, Zhang, 2021). Кроме того, это ценное нектароносное, пыльценозное, декоративное и кормовое растение (Nechaev, 2019).

В последние десятилетия популяция бархата амурского резко сократилась, а мероприятия по сохранению и увеличению популяции вида, проводимые в настоящее время, не имеют значительных результатов из-за сложного и изменчивого климата (Zhu et al., 2018). В настоящее время бархат амурский включен в перечень древесных пород, заготовка древесины которых не допускается, что делает актуальными создание производственных плантаций и ведение селекционных исследований по отбору наиболее продуктивных форм в естественных насаждениях (Nikitenko, 2017). Известно, что интродукция растений – это один из путей сохранения природных растительных ресурсов, при этом в отдельных случаях введение растений в культуру является не только эффективным, но и единственно возможным методом сохранения редких видов (Zhivchikova, Zhivchikov, 2019).

В связи с этим целью исследования было изучение особенностей влияния погодных условий на сезонный ритм развития растений бархата амурского (*Phellodendron amurense* Rupr.) в условиях лесостепи Приобья.

Материалы и методы

Дендрарий Сибирского научно-исследовательского института растениеводства и селекции – филиала Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук (СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН) – расположен на левом берегу реки Оби, в восточной части поселка Краснообск Новосибирского района Новосибирской области. Резко континентальный климат территории обуславливает жесткий отбор интродуцентов. Всего в дендрарии, в искусственно созданных ценозах, произрастают 32 дерева бархата амурского, годы посадки 1984–1987. Изучение закономерностей изменчивости погодных условий в период вегетации растений в 2016–2020 гг. проводили путем анализа показателей среднесуточных температур, суммы эффективных температур и количества осадков. Для исследования ритма сезонного развития проводили фенологические наблюдения, используя методические рекомендации И. Д. Юркевича с соавторами (Yurkevich et al., 1980).

Математическая обработка выполнена с использованием программы MS Excel. Для выявления зависимости продолжительности фенологических фаз у бархата амурского от климатических факторов, а также взаимного влияния продолжительности фаз использовали коэффи-

коэффициент корреляции Пирсона (r). Критический уровень значимости принимался равным 5%.

Лесостепь Приобья характеризуется резко континентальным климатом, что связано с географическим положением. Характерны неравномерно выраженные сезоны года: зима суровая и продолжительная, лето умеренно жаркое, но довольно короткое. Весна и осень непродолжительные, со свойственной территории неустойчивой погодой. В среднем весенние заморозки заканчиваются в начале третьей декады мая – начале июня. Осенние заморозки начинаются во второй половине сентября, иногда случаются в августе. Среднегодовая температура воздуха $+0,2^{\circ}\text{C}$, средняя многолетняя температура января $-18,8^{\circ}\text{C}$ при абсолютном минимуме -48°C . Среднегодовая температура июля $+19^{\circ}\text{C}$, при максимуме $+32^{\circ}\text{C}$. Снежный покров сохраняется в среднем 162 суток, с колебаниями в отдельные годы от 146 до 184. Средняя высота снежного покрова – 30–34 см. Глубина промерзания достигает по годам от 70–80 см до 120–150 см. Продолжительность вегетационного периода с температурой выше $+5^{\circ}\text{C}$ составляет 158 суток, а продолжительность безморозного периода – в среднем 120 суток. Годовая сумма осадков – 350–400 мм. Характерной особенностью климата является активная ветровая деятельность на протяжении всего года. Нередки засухи с суховеями (Voronina, Gritsenko, 2011). По данным ГМС «Огурцово» Новосибирской области, средняя многолетняя сумма эффективных температур составляет 1546°C .

По данным ГМС «Огурцово», метеорологические условия в 2016–2020 гг. были неоднородны по температурному режиму и количеству выпавших осадков (рисунк).

Теплообеспеченность в 2016 и 2020 г. была достаточной. Сумма эффективных температур в конце сезона превышала средние многолетние значения на 271 и 326°C соответственно.

Годы 2017 и 2019 по сумме эффективных температур различались между собой незначительно, величина показателя составила, соответственно, 1672 и 1666°C .

Май 2018 года был наиболее прохладным, задерживались сроки наступления фенофаз, сумма эффективных температур в третьей декаде мая была 121°C при норме 226°C . Июнь был жарким, со среднемесячной температурой на 2°C выше нормы, которая составляет $+17,1^{\circ}\text{C}$. Температура в июле и августе близка к средним многолетним. Норма среднемесячной температуры сентября – $+10,2^{\circ}\text{C}$, отклонение составило $+0,6^{\circ}\text{C}$. 12 сентября отмечен заморозок. Сумма эффективных температур в 2018 г. была практически равной среднему многолетнему значению, (разница – 14°C).

Распределение осадков по месяцам за период 2016–2020 гг. было неравномерным. С апреля по октябрь в 2016 г. выпало 87,9% осадков от нормы (328 мм). По сумме выпавших осадков 2017 и 2020 г. близки, количество осадков составило соответственно 112 и 113,8% от нормы. В 2019 г. за вегетацию выпало 97,6% осадков от нормы. Наиболее увлажненный год – 2018, сумма осадков была выше среднего многолетнего значения и составила 125% от нормы.

Результаты и обсуждение

Как известно, особенности индивидуального развития растений обусловлены различиями в их требовательности к условиям произрастания, поэтому, зная

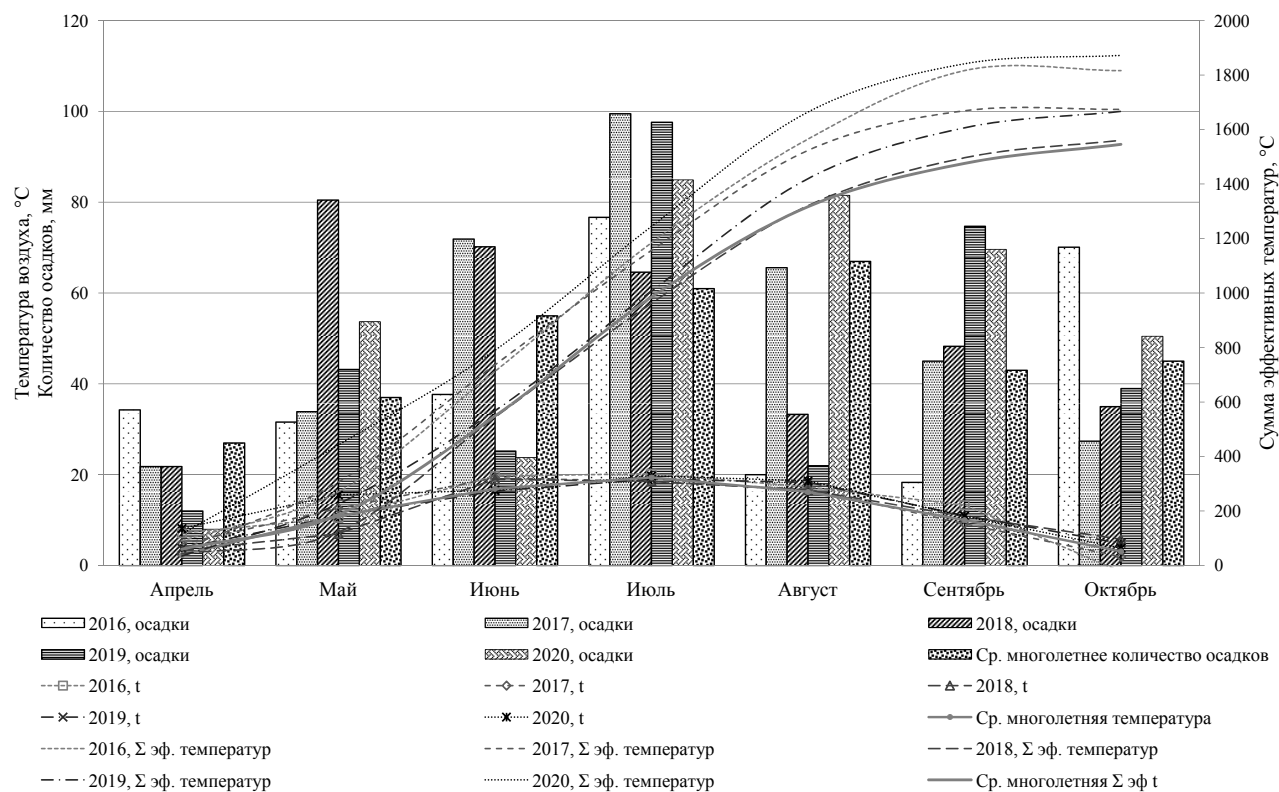


Рисунок. Условия вегетационного периода 2016–2020 гг.
(по данным метеорологической станции «Огурцово»)

Figure. Growing season conditions of 2016–2020 (according to Ougurtsovo Weather Station)

диапазон толерантности основных фаз развития к факторам среды, можно судить о степени адаптации вида к климатическим условиям местообитания (Kischenko, Potapova, 2014).

Продолжительность вегетационного периода является важным диагностическим признаком для оценки адаптации древесных растений. Его длительность в значительной степени определяется не только биологическими свойствами вида, но и условиями произрастания. Варьирование дат сезонного развития видов растений, в том числе при нехарактерно раннем начале вегетации, обуславливается особенностями климата территорий произрастания (Kang et al., 2021). Изменения температурного режима и количества осадков в наших исследованиях повлияли на скорость прохождения фенологических фаз (таблица). Примечательно, что самое раннее наступление фенологических фаз наблюдалось в более теплом для всей Сибири 2020 г., который на фоне остальных лет выделялся теплой и стремительной весной, а самое позднее – в 2018 г., который в Новосибирске отличался холодной и затяжной весной.

мате Беларуси этот вид начинает вегетировать в конце апреля (24.04 ± 3) и заканчивает в конце октября (24.10 ± 4) (Kuchuk et al., 2007).

Начало вегетации древесных растений в значительной степени зависит от температуры воздуха, и ранняя, теплая весна способствует более скорому началу вегетации, а поздняя весна, сопровождающаяся низкими значениями среднесуточной температуры воздуха, приводит к запаздыванию развития растений.

Год 2018 представляет собой именно тот случай, когда низкие положительные температуры задерживают сроки наступления фаз. Весна этого года в Новосибирске была затяжной и холодной. Несмотря на то что среднесуточная температура воздуха в третьей декаде апреля была на $3,5^{\circ}\text{C}$ выше многолетних наблюдений и составила $+8,8^{\circ}\text{C}$, холодный май стал причиной смещения начала вегетации бархата амурского на 1 июня. На протяжении всего мая температура воздуха была ниже относительно средних многолетних значений и среднесуточная температура воздуха составила всего $+7,0^{\circ}\text{C}$ против «нормы» $+12,9^{\circ}\text{C}$. Примечательно, что в начале

Таблица. Результаты фенологической оценки бархата амурского в дендрарии Сибирского НИИ растениеводства и селекции, 2016–2020 гг.

Table. The results of phenological assessment of Amur cork tree in the arboretum of the Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding, 2016–2020

Фенофаза	Средняя дата	Самая ранняя дата	Самая поздняя дата	Средняя сумма эффективных температур
Набухание почек	17.05 ± 5	03.05	01.06	$125,2 \pm 4$
Разверзание почек	27.05 ± 4	13.05	09.06	$219,8 \pm 3$
Начало облиствения	01.06 ± 4	17.05	14.06	$275,8 \pm 4$
Цветение, начало	14.06 ± 4	01.06	24.06	$438,4 \pm 3$
Цветение, конец	22.06 ± 4	09.06	02.07	$543,0 \pm 11$
Созревание плодов	15.09 ± 5	31.08	29.09	$1591,6 \pm 29$
Изменение окраски листьев	04.09 ± 3	31.08	12.09	$1558,2 \pm 31$
Опадение листьев	19.09 ± 2	17.09	30.09	$1649,1 \pm 71$

В ходе пятилетнего наблюдения вегетация *Phellodendron amurense* в дендрарии п. Краснообск начиналась в середине мая (17.05 ± 5 суток) и продолжалась до конца второй декады сентября (19.09 ± 2 суток). Полученные данные позволяют заключить, что начало и конец вегетации бархата амурского в условиях новосибирского Приобья близки к фенологическому интервалу развития растений данного вида, произрастающих в пределах естественного ареала – в Приморском крае, где, по данным Р. И. Живчиковой и А. И. Живчикова, начало вегетации отмечается 18–23 мая, а окончание – уже в середине сентября, и продолжительность периода от распускания листьев до листопада составляет 110–120 суток (Zhivchikova, Zhivchikov, 2019). Если же сравнивать с интродуцированными растениями бархата амурского, произрастающими в Погорельском бору и Академгородке Красноярска, то там начало и конец вегетации сдвинуты на 1–2 недели раньше, и сезонное развитие бархата амурского проходит с 27.04–17.05 по 21.08–16.09 (Sedaeva, 2019). В то же время в умеренно континентальном кли-

мате третьей декады мая было отмечено кратковременное повышение среднесуточной температуры до $+12,7^{\circ}\text{C}$, однако затем последовал холодный фронт, и средняя температура воздуха на неделю составила $+7,2^{\circ}\text{C}$, что не только привело к смещению начала вегетации, но и повлекло более позднее наступление последующих фаз.

Однако жаркий и влажный июнь 2018 г. (сумма осадков превышена в 2 раза) ускорил прохождение фенофаз. В результате продолжительность периодов от набухания почек до начала цветения и от набухания до конца цветения оказались меньше среднего значения на 5 суток. Повышенная влажность во время цветения привела к тому, что опыление проходило слабо. Сумма эффективных температур в конце июня составила $543,4^{\circ}\text{C}$, почти достигнув среднего многолетнего значения ($575,0^{\circ}\text{C}$). Период времени от окончания цветения до созревания был больше среднего значения на 4 суток. При этом плодоношение отмечалось незначительным. Ввиду того что начало вегетации задержалось, изменение окраски листьев также было поздним, даже с учетом теплого лета

и начала осени. В результате вступление в фазу совпало с заморозком, который полосой прошел по территории дендрария 12 сентября и местами повредил зеленые и желтеющие листья. Листопад не был завершен нормально.

По-иному складывалась вегетация в температурном режиме, наблюдавшемся в 2020 г., когда высокие весенние температуры способствовали ранней вегетации растений.

Весна в 2020 г. началась стремительно: уже в последних числах марта среднесуточная температура воздуха поднялась выше отметки 0°C, а среднесуточная температура воздуха в третьей декаде апреля составила +13,9°C, что на 8,6°C теплее «нормы». Активное накопление суммы эффективных температур в третьей декаде апреля в последующем определило ранние сроки наступления фенофаз. Ранняя весна ускорила набухание почек, благодаря чему бархат амурский вступил в начало вегетации 3 мая. Разверзание и облиствение были отмечены на две недели раньше в сравнении со средней датой наблюдений за 5 лет. В этот период сумма эффективных температур быстро увеличивалась. Бархат амурский прошел фазу цветения в период с 1 по 9 июня, когда сумма температур выше +5°C составляла 441°C и 530°C соответственно. От окончания цветения до созревания по средним фенологическим датам прошло 85 суток. В 2020 г. созревание плодов завершилось на 2 суток раньше ожидаемых средних сроков за счет более интенсивного нарастания температур. Изменение окраски листьев, разрушение хлорофилла обуславливает прекращение активной вегетации, наступившее в 2020 г. на 4 суток раньше средней даты. В связи с наступлением ранней весны и последующим благоприятным летне-осенним периодом вегетация составила 137 суток, при средней продолжительности за 5 лет 125 ± 6 суток.

Анализируя данные, полученные в проведенном исследовании (см. таблицу), можно отметить, что наступление весенних фенологических фаз наиболее чувствительно к климатическим изменениям, а увеличение минимальных или максимальных температур способствует смещению сроков цветения на более поздние или ранние соответственно. В то же время наблюдается менее устойчивая тенденция увеличения продолжительности осенних фаз, которая связана с тем, что начало осени постепенно откладывается с годами. Эта информация согласуется с результатами ранее опубликованных исследований (Gaira et al., 2014; Graborov, Shoshin, 2014; Kameneva et al., 2018).

В результате 5-летних наблюдений, проведенных на бархате амурском, отмечен ряд зависимостей, позволяющих в той или иной мере судить о темпах индивидуального развития деревьев в течение вегетации. При этом нужно принимать во внимание тот факт, что направление и сила корреляций между динамикой прохождения фенофаз и проявлениями эколого-климатических условий могут значительно меняться в зависимости от вида растения, фазы его развития и фактора среды (Kischenko, Rotarova, 2014). Так, например, установлена достоверная сильная отрицательная зависимость от среднесуточной температуры воздуха продолжительности таких межфазных периодов, как «набухание – разверзание почек» ($r = -0,97$, $t_{\phi} = 7,02$), «разверзание почек – начало облиствения» ($r = -0,88$, $t_{\phi} = 3,27$) и «конец цветения – созревание плодов» ($r = -0,88$, $t_{\phi} = 3,25$). Таким образом, увеличение среднесуточной температуры в течение одного из этих периодов сокращает его продолжительность.

В свою очередь на продолжительность периода от созревания плодов до опадения листьев в значительной степени влияют количество осадков и сумма эффективных температур во время его прохождения (соответственно $r = 0,99$, $t_{\phi} = 16,85$ и $r = 0,92$, $t_{\phi} = 4,06$). Помимо этого, установлена сильная достоверная корреляция между продолжительностью периода от изменения окраски до опадения листьев и суммой эффективных температур за это время ($r = 0,92$, $t_{\phi} = 4,05$), что согласуется с данными, полученными А. В. Graborovыми и В. И. Шошиным в исследовании сезонного развития дуба черешчатого (Graborov, Shoshin, 2014). Бархат амурский достигает своей максимальной декоративности, когда его листья приобретают ярко-желтую осеннюю окраску и созревают плоды. Таким образом, можно резюмировать, что в осенний период изучаемый вид дольше сохраняет свои декоративные качества при более теплой погоде, сопровождающейся достаточным количеством осадков.

Учитывая полученные результаты, можно с большой долей уверенности говорить о том, что скорость прохождения той или иной фазы развития бархата амурского в разной степени зависит от климатических условий среды. В 2018 и 2020 г. погодные условия, предшествовавшие началу вегетации вида, в значительной степени сместили начало вегетации и повлияли на развитие бархата амурского. Принимая во внимание этот факт, стоит отметить, что в дальнейшем изучение особенностей сезонного развития этого вида будет продолжено.

Выводы

Растения бархата амурского (*Phellodendron amurense*) в дендрарии СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН вступили в генеративную фазу, что свидетельствует о том, что они адаптировались к сложному комплексу природно-климатических условий сибирской лесостепи.

Потребность растений в положительной температуре является одним из определяющих факторов, влияющих на сроки наступления фенофаз. Средняя дата начала вегетации в 2016–2020 гг. приходилась на конец второй декады мая: 17.0 5 ± 5 суток. В этот период средняя сумма эффективных температур составляла 125,2 ± 4°C. Средняя дата на начало и конец цветения проходила на 14.06 и 22.06, при этом средняя сумма эффективных температур достигала 438,4 ± 3°C и 543,0 ± 11°C соответственно. Завершение периода вегетации наблюдалась, когда сумма эффективных температур составляла 1649,1 ± 71°C.

Наступление фенологических фаз проходило в зависимости от погодных условий, сложившихся в годы исследований. При этом достижение заключительных фенофаз сопровождалось накоплением сопоставимых количеств температур, особенно в весенний период вегетации.

Вегетационный период бархата амурского в 2020 г. был наиболее продолжительным: 137 суток за счет сдвига начала вегетации на более ранние сроки – 3 мая.

В 2018 г. недобор эффективных температур сдвинул начало вегетации на более поздние сроки, набухание почек отмечено 1 июня. Обильные осадки в июне 2018 г. в период цветения привели к уменьшению завязываемости плодов. Осенний заморозок вызвал раннее отмирание листьев, сократив период вегетации до 103 суток.

Скорость прохождения той или иной фазы развития бархата амурского в разной степени зависит от климатических условий среды. Установлена корреляция между продолжительностью межфазных периодов и среднесуточными и эффективными температурами, а также количеством осадков. Выявлена достоверная сильная зависимость продолжительности вегетации бархата амурского от суммы эффективных температур ($r = -0,87$, $t_{\phi} = 3,03$).

Определено отрицательное взаимное влияние продолжительности таких межфазных периодов, как «начало облиствения – начало цветения» и «конец цветения – изменение окраски листьев» ($r = -0,88$, $t_{\phi} = 3,14$), а также «конец цветения – созревание плодов» и «изменение окраски – опадение листьев» ($r = -0,88$, $t_{\phi} = 3,25$).

Интродуцированные растения бархата амурского развиваются в соответствии с особенностями развития вида в пределах его естественного ареала.

References / Литература

- Gaira K.S., Rawal R.S., Rawat B., Bhatt I.D. Impact of climate change on the flowering of *Rhododendron arboretum* in central Himalaya, India. *Current Science*. 2014;106(12):1735–1738.
- Gorbatenko V.P., Kuzhevskaya I.V., Pustovalov K.N., Chursin V.V., Konstantinova D.A. Assessment of atmospheric convective potential variability in Western Siberia in changing climate. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2000;45(5):360–367. DOI: 10.3103/S1068373920050076
- Graborov A.V., Shoshin V.I. Peculiarities of the seasonal development of the northern oak in the Bryansk region. *Forestry Engineering Journal*. 2014;4(4):83–92. [in Russian] [Граборов А.В., Шошин В.И. Особенности сезонного развития дуба северного в Брянской области. *Лесотехнический журнал*. 2014;4(4):83–92]. DOI: 10.12737/8444
- Kameneva L.A., Koksheeva I.M., Tvorogov S.P., Bogachev I.G. Phenological response *Magnolia sieboldii* K. Koch to climate change. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series*. 2018;123(1):57–64. [in Russian] [Каменева Л.А., Кокшеева И.М., Творогов С.П., Богачев И.Г. Фенологический ответ *Magnolia sieboldii* K. Koch на климатические изменения. *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический*. 2018;123(1):57–64].
- Kang J., Jiang S., Tardif J.C., Liang H., Zhang S., Li J. et al. Radial growth responses of two dominant conifers to climate in the Altai Mountains, Central Asia. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2021;298–299:108297. DOI: 10.1016/j.agrformet.2020.108297
- Kischenko I.T., Potapova M.N. The seasonal rhythm of introduced *Fraxinus* species (Oleaceae) development under the conditions of Karelia. *Rastitelnye resursy = Plant Resources*. 2014;50(2):184–194. [in Russian] [Кищенко И.Т., Потапова М.Н. Сезонный ритм развития интродуцированных видов *Fraxinus* (Oleaceae) в условиях Карелии. *Растительные ресурсы*. 2014;50(2):184–194].
- Koropachinskiy I.Y. Problems of Russian dendrology in the XXI century. *Contemporary Problems of Ecology*. 2011;4(6):684–698. DOI: 10.1134/S199542551106018X
- Koropachinskiy I.Yu., Vstovskaya T.N., Tomoshevich M.A. Modern problems of the introduction of woody plants in Siberia (Sovremennyye problemy introduktsii drevesnykh rasteniy v Sibiri). Novosibirsk: GEO Academic Publishers; 2013. [in Russian] [Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н., Томошевич М.А. Современные проблемы интродукции древесных растений в Сибири. Новосибирск: Академическое издательство «ГЕО»; 2013].
- Kuchuk S.N., Dishuk A.L., Efremov A.L., Garanovich I.M. Assessment of the state of Amur cork tree and Manchurian walnut plantings at the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (Otsenka sostoianiya nasazhdeniy barkhata amurskogo i orekha manchzhurskogo v posadkakh tsentralnogo botanicheskogo sada NAN Belarusi). *Vestnik BSU. Series 2: Chemistry. Biology. Geography*. 2007;(2):82–87. [in Russian] [Кучук С.Н., Дишук А.Л., Ефремов А.Л., Гаранович И.М. Оценка состояния насаждений бархата амурского и ореха маньчжурского в посадках центрального ботанического сада НАН Беларуси. *Вестник БГУ. Серия 2: Химия. Биология. География*. 2007;(2):82–87].
- Luo Y., Zhang X. Effects of yellow natural dyes on handmade Daqian paper. *Heritage Science*. 2021; 9(1):85. DOI: 10.1186/s40494-021-00560-x
- Makhrova T.G. Amur cork tree as a promising introduction plant for urban green spaces in Moscow and the Moscow region. *Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia*. 2021;20(1):298–300. [in Russian] [Махрова Т.Г. Бархат амурский как перспективный интродуцент для городских зеленых насаждений Москвы и Подмосковья. *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии*. 2021;20(1):298–300]. DOI: 10.14258/pbssm.2021058
- Mehdipoor H., Zurita-Milla R., Augustijn E.W., Izquierdo-Verdiguier E. Exploring differences in spatial patterns and temporal trends of phenological models at continental scale using gridded temperature time-series. *International Journal of Biometeorology*. 2020;64(3):409–421. DOI: 10.1007/s00484-019-01826-7
- Mokhov I.I. Russian climate research in 2015–2018. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2020;56(4):325–343. DOI: 10.1134/S0001433820040064
- Nechaev A.A. Fruiting of Amur velvet in the south of Far East. *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy = Fruit-Growing, Seed Production, and Introduction of Woody Plants*. 2019;22:141–144. [in Russian] [Нечаев В.А. Плодоношение бархата амурского на юге Дальнего Востока. *Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений*. 2019;22:141–144].
- Nikitenko E.A. Cultivated Amur cork tree in the south of the Far East and in introduction (Kultury barkhata amurskogo na yuge Dalnego Vostoka i v introduktsii). *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy = Fruit-Growing, Seed Production, and Introduction of Woody Plants*. 2017;20:126–129. [in Russian] [Никитенко Е.А. Культуры бархата амурского на юге Дальнего Востока и в интродукции. *Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений*. 2017;20:126–129].
- Ren P., Liang E., Raymond P., Rossi S. Phenological differentiation in sugar maple and responses of bud break to an experimental warming. *Forests*. 2020;11(9):929. DOI: 10.3390/f11090929
- Schaphoff S., Reyer C.P.O., Schepaschenko D., Gerten D., Shvidenko A. Tamm Review: Observed and projected climate change impacts on Russia's forests and its carbon balance. *Forest Ecology and Management*. 2016;361:432–444. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.11.043
- Sedaeva M.I. *Phellodendron amurense* in dendrological collection of Sukachev Institute of Forest SB RAS. *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy = Fruit-Growing, Seed Production, and Introduction of Woody*

- Plants*. 2019;22:172-175. [in Russian] [Седаева М.И. Бархат амурский в дендрологической коллекции Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. *Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений*. 2019;22:172-175].
- Senchik A.V., Malikova E.I. (eds). Red Book of the Amur Region: rare and endangered species of animals, plants and mushrooms (Krasnaya kniga Amurskoy oblasti: redkiye i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoventiya vidy zhivotnykh, rasteniy i gribov). Blagoveshchensk: Far East State Agrarian University; 2020. [in Russian] [Красная книга Амурской области: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов / под ред. А.В. Сенчика, Е.И. Маликовой. Благовещенск: Дальневосточный ГАУ; 2020]. URL: <http://www.amurohota.ru/files/RedBookAmur2020.pdf> [дата обращения: 03.08.2022].
- Ushakov M.V., Nedosekina T.V. Method for the evaluation of thermal requirements for development based on phenological observations. *Russian Journal of Ecology*. 2017;48(5):409-416. DOI: 10.1134/S1067413617050137
- Voronina L.V., Gritsenko A.G. Climate and ecology of Novosibirsk Province (Klimat i ekologiya Novosibirskoy oblasti). Novosibirsk: SSGA; 2011. [in Russian] [Воронина Л.В., Гриценко А.Г. Климат и экология Новосибирской области. Новосибирск: СГГА; 2011].
- Yurkevich I.D., Golod D.S., Yaroshevich E.P. Phenological studies of woody and herbaceous plants (Fenologicheskiye issledovaniya drevesnykh i travyanistykh rasteniy). Minsk: Nauka i Tekhnika; 1980. [in Russian] [Юркевич И.Д., Голод Д.С., Ярошевич Э.П. Фенологические исследования древесных и травянистых растений. Минск: Наука и техника; 1980].
- Zhivchikova R.I., Zhivchikov A.I. Experience of cultivation of Amursky velvet (*Phellodendron amurense* Rupr.) and Eleutherococcus prickly (*Eleutherococcus senticosus* Maxim.) in the South of the Primorsky Region. *Agrarny vestnik Primorya = Agrarian Bulletin of Primorsky Territory*. 2019;1(13):26-29. [in Russian] [Живчикова Р.И., Живчиков А.И. Опыт культивирования бархата амурского (*Phellodendron amurense* Rupr.) и элеутерококка колючего (*Eleutherococcus senticosus* Maxim.) на юге Приморского края. *Аграрный вестник Приморья*. 2019;1(13):26-29].
- Zhu L., Wang X., Pederson N., Chen Z., Cooper D.J., Zhang Y., Li Z. Spatial variability in growth-climate relationships of Amur cork tree (*Phellodendron amurense*) and their connections with PDO in Northeast China. *JGR Biogeosciences*. 2018;123(5):1625-1636. DOI: 10.1029/2017JG004292

Информация об авторах

Надежда Николаевна Лихенко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, 630501 Россия, Новосибирская обл., Новосибирский р-н, р. п. Краснообск, ул. С-200, зд. 5/1, а/я 375, lihenko.n@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0422-2682>

Татьяна Николаевна Капко, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, 630501 Россия, Новосибирская обл., Новосибирский р-н, р. п. Краснообск, ул. С-200, зд. 5/1, а/я 375, tatjanakapko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1573-1618>

Анастасия Павловна Епанчинцева, агроном 1 категории, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, 630501 Россия, Новосибирская обл., Новосибирский р-н, р. п. Краснообск, ул. С-200, зд. 5/1, а/я 375, chudnayaanastasiya@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0112-5126>

Иван Евгеньевич Лихенко, доктор сельскохозяйственных наук, руководитель филиала, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, 630501 Россия, Новосибирская обл., Новосибирский р-н, р. п. Краснообск, ул. С-200, зд. 5/1, а/я 375, lihenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0305-1036>

Information about the authors

Nadezhda N. Likhenko, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding, branch of the IC&G SB RAS, P.O. Box 375, bldg. 5/1 S-200 St., Krasnoobsk, Novosibirsky District, Novosibirsk Province 630501, Russia, lihenko.n@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0422-2682>

Tatiana N. Kapko, Researcher, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding, branch of the IC&G SB RAS, P.O. Box 375, bldg. 5/1 S-200 St., Krasnoobsk, Novosibirsky District, Novosibirsk Province 630501, Russia, tatjanakapko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1573-1618>

Anastasiya P. Epanchintseva, Agronomist of Category 1, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding, branch of the IC&G SB RAS, P.O. Box 375, bldg. 5/1 S-200 St., Krasnoobsk, Novosibirsky District, Novosibirsk Province 630501, Russia, chudnayaanastasiya@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0112-5126>

Ivan E. Likhenko, Dr. Sci. (Agriculture), Head of the Branch, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding, branch of the IC&G SB RAS, P.O. Box 375, bldg. 5/1 S-200 St., Krasnoobsk, Novosibirsky District, Novosibirsk Province 630501, Russia, lihenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0305-1036>

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 22.02.2022; одобрена после рецензирования 14.10.2022; принята к публикации 02.03.2023.

The article was submitted on 22.02.2022; approved after reviewing on 14.10.2022; accepted for publication on 02.03.2023.

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 575.73:633.11
DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-42-52



Минеральный состав зерна линий мягкой пшеницы с интрогрессиями чужеродного генетического материала

О. А. Орловская, С. И. Вакула, Л. В. Хотылева, А. В. Кильчевский

Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

Автор, ответственный за переписку: Ольга Александровна Орловская, O.Orlovskaya@igc.by

Актуальность. Современные сорта мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), селекция которых велась в основном на увеличение продуктивности, часто имеют невысокую концентрацию минеральных элементов в зерне. Дикие и примитивные пшеницы отличаются большим генетическим разнообразием, в том числе по содержанию минералов в зерне, и могут использоваться для улучшения генофонда возделываемой пшеницы по этому признаку. Цель работы – изучение особенностей минерального состава зерна линий мягкой пшеницы с интрогрессиями генетического материала видов рода *Triticum* L.

Материалы и методы. Исследовали родительские сорта яровой мягкой пшеницы, образцы тетраплоидных и гексаплоидных видов рода *Triticum*, а также 20 интрогрессивных линий, полученных с их участием в 2018 и 2020 г. Уровень накопления макро- (K, P, Ca, Mg) и микроэлементов (Zn, Fe, Cu, Mn) в зерне определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой; общее содержание белка в зерне пшеницы – в соответствии с ГОСТ 10846-91. Статистическую обработку выполняли в программных пакетах Statistica 10.0 и MS Excel.

Результаты и заключение. Содержание минералов в зерне привлеченных в скрещивания образцов видов рода *Triticum* было выше, чем у сортов *T. aestivum* (в среднем за два года от 1,02 до 2,13 раза в зависимости от элемента). У большинства линий с чужеродным генетическим материалом уровень накопления Zn, Fe, Cu, Mn превосходил исходные сорта мягкой пшеницы, а концентрация N, P, Mg, K была ближе к значениям сорта. Установлена высокая статистическая значимость вклада генотипа, условий года и их взаимодействия в изменчивость содержания макро- и микроэлементов в зерне исследованных генотипов. Выделены линии со стабильно высокими показателями по минеральному составу зерна и продуктивности, которые представляют интерес для селекции пшеницы на качество зерна.

Ключевые слова: *Triticum aestivum*, сородичи пшеницы, интрогрессивные линии мягкой пшеницы, содержание макро- и микроэлементов в зерне

Благодарности: работа выполнена в рамках проекта 2.1.2 Государственной программы научных исследований «Биотехнологии-2» (Институт генетики и цитологии НАН Беларуси).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Орловская О.А., Вакула С.И., Хотылева Л.В., Кильчевский А.В. Минеральный состав зерна линий мягкой пшеницы с интрогрессиями чужеродного генетического материала. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):42-52. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-42-52

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-42-52

Mineral composition of bread wheat lines with introgressions of alien genetic material

Olga A. Orlovskaya, Svetlana I. Vakula, Lubov V. Khotyleva, Alexander V. Kilchevsky

*Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus***Corresponding author:** Olga A. Orlovskaya, O.Orlovskaya@igc.by

Background. Modern bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars developed mainly to increase productivity often contain low concentrations of minerals in their grain. Wild and primitive wheats demonstrate rich genetic diversity, including the content of minerals in the grain, and can be used to improve the wheat gene pool for this trait. The aim of this work was to study the mineral composition in the grain of bread wheat lines with introgressions of the genetic material from *Triticum* L. spp.

Materials and methods. We studied parental spring bread wheat cultivars, accessions of tetraploid and hexaploid *Triticum* spp., and 20 introgressive lines obtained on their basis in 2018 and 2020. Concentrations of macro- (K, P, Ca, and Mg) and micronutrients (Zn, Fe, Cu, and Mn) were measured using atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma, and total protein content in wheat grain according to GOST 10846-91. The data were processed using the Statistica 10.0 and MS Excel software packages.

Results and conclusion. The content of minerals in the grain of *Triticum* spp. was higher than in *T. aestivum* cultivars (the two-year average difference was 1.02 to 2.13-fold, depending on the studied mineral). Most of the lines with alien genetic material exceeded their parent bread wheat cultivars in Zn, Fe, Cu and Mn content and came close to them in the levels of N, P, Mg and K. ANOVA established a statistically significant impact of the genotype, environment, and genotype × environment interaction on the variation of the grain macro- and micronutrient content. Lines with a consistently high concentration of grain minerals and high productivity were identified. These lines are of interest for wheat breeding for grain quality.

Keywords: *Triticum aestivum*, wheat relatives, introgressive bread wheat lines, concentrations of micro- and macronutrients in grain

Acknowledgements: the research was performed within the framework of Project 2.1.2 of the State Scientific Research Program "Biotechnology-2" (Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Orlovskaya O.A., Vakula S.I., Khotyleva L.V., Kilchevsky A.V. Mineral composition of bread wheat lines with introgressions of alien genetic material. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):42-52. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-42-52

Введение

Минеральные элементы играют важную роль в биохимических и физиологических процессах всех живых организмов. У растений многие из них оказывают влияние на рост, развитие, фотосинтез и водный обмен, а в итоге и на продуктивность. Дефицит минералов в организме человека может приводить к ухудшению работы иммунной системы, ослаблению памяти, анемии и другим проблемам со здоровьем. Более 2 млрд людей в мире в той или иной степени испытывают недостаточное поступление с пищей микроэлементов, особенно в районах, где значительную часть рациона питания составляют злаки (Kumar et al., 2019). Одной из наиболее важных сельскохозяйственных культур, которая играет ключевую роль в обеспечении продовольствием населения во всем мире, является мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.). В настоящее время для данного вида отмечено обеднение генофонда по признакам качества зерна, что обусловлено широким распространением однотипных сортов, селекция которых велась в основном на урожайность (Gupta et al., 2021). Культивируемые сорта имеют невысокую концентрацию многих минеральных элементов в зерне, и кроме того, в злаках содержатся вещества, которые препятствуют их усвоению (оксалаты, фитин, волокна). Известно, что дикие и примитивные пшеницы характеризуются улучшенными биохимическими показателями, чем сорта и селекционные линии. Показан повышенный уровень накопления микроэлементов в зерне однозернянки (*T. monococcum* L.), культурной полбы (*T. dicoccum* Schrank ex Schuebl.), дикой полбы (*T. diccoides* (Körn. ex Asch. et Graebn.) Schweinf.), спельты (*T. spelta* L.) по сравнению с сортами *T. aestivum* (Zhao et al., 2009; Chatzav et al., 2010). В работе I. Cakmak с соавторами анализ содержания Zn и Fe в зерне 46 образцов *T. diccoides* и 68 сортов *T. aestivum* различного эколого-географического происхождения выявил, что большинство образцов дикой полбы значительно превосходят сорта мягкой пшеницы как по концентрации Zn и Fe, так и по уровню изменчивости этих показателей (Cakmak et al., 2000). Незначительная вариабельность содержания данных микроэлементов (для Zn в диапазоне 20–39 мг/кг, для Fe – 39–48 мг/кг) у современных сортов яровой мягкой пшеницы отмечена и в работе А. Моргунова с соавторами (Morgounov et al., 2007). Таким образом, сородичи пшеницы являются источниками более высокого содержания макро- и микроэлементов в зерне. С целью обогащения и улучшения генофонда мягкой пшеницы в скрещивания с сортами *T. aestivum* нами были привлечены образцы видов *T. diccoides*, *T. dicoccum*, *T. durum* Desf., *T. spelta*, *T. kiharae* Dorof. et Migusch. Проведенное ранее изучение генетического разнообразия коллекции интрогрессивных линий пшеницы с помощью методов С-бэндинга и SSR-анализа показало, что в геноме этих линий чужеродный генетический материал представлен как в виде небольших участков, так и в виде целых хромосом (Leonova et al., 2013; Orlovskaya et al., 2020). Цель данного исследования – изучение особенностей минерального состава зерна линий мягкой пшеницы с интрогрессиями генетического материала видов рода *Triticum* L.

Материалы и методы

В исследование включены четыре сорта яровой мягкой пшеницы ‘Рассвет’, ‘Саратовская 29’, ‘Фестивальная’, ‘Pitic S62’, образцы тетраплоидных *T. diccoides*, *T. dicoc-*

cum (2n = 28) и гексаплоидных *T. spelta*, *T. kiharae* (2n = 42) видов рода *Triticum*, а также полученные нами 20 интрогрессивных линий. Из них семь создано с участием *T. diccoides* – Л29 (Рассвет × *T. diccoides* к-5199); Л8 (Саратовская 29 × *T. diccoides*); Л11-1, Л13-3, Л15-7-1, Л15-7-2, Л16-5 (*T. diccoides* × Фестивальная); шесть – с участием *T. kiharae*: Л19, Л20-1, Л25-2 (*T. kiharae* × Саратовская 29), Л28, Л34-1, Л34-2 (*T. kiharae* × Фестивальная); пять – *T. dicocum*: Л1-3, Л2-7 (*T. dicocum* к-45926 × Фестивальная); Л206-2, Л208-3, Л213-1 (Pitic S62 × *T. dicocum* к-45926) и две – *T. spelta*: Л7 (*T. spelta* к-1731 × Саратовская 29), Л1-8 (*T. spelta* к-1731 × Рассвет). Образцы видов пшеницы получены из коллекции ВИР, однако в тех случаях, когда информация о родословных линий не сохранилась, номера по каталогу ВИР не указаны. Растения выращивали на экспериментальном поле Института генетики и цитологии НАН Беларуси в 2018 и 2020 г. (г. Минск, РБ) на дерново-подзолистой супесчаной почве. Минеральные удобрения вносили в следующих дозах: азотные – 80 кг/га д. в., фосфорные – 70 кг/га д. в., калийные – 90 кг/га д. в.

Уровень накопления макро- (N, K, P, Ca, Mg) и микроэлементов (Zn, Fe, Cu, Mn) в зерне определяли в Центре аналитических и спектральных измерений Государственного научного учреждения «Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси». Концентрацию азота оценивали на CHNOS-анализаторе VARIO EL фирмы ELEMENTAR, содержание остальных элементов – на атомно-эмиссионном спектрометре IRIS Intrepid II XDL DUO. Для каждого образца анализ проводили в двукратной биологической повторности, измерения повторяли 10 раз для каждой пробы. Общее содержание белка в зерне пшеницы определяли в соответствии с ГОСТ 10846-91 (ГОСТ 10846-91..., 1993) в Центральной республиканской лаборатории ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений» (г. Минск, РБ).

Результаты эксперимента обобщены с использованием методов описательной статистики, дисперсионного анализа, метода главных компонент (principal component analysis, PCA). Статистические процедуры реализованы в программных пакетах Statistica 10.0 и MS Excel. Долю влияния генетических и средовых факторов в общей изменчивости анализируемых признаков рассчитывали на основании результатов двухфакторного дисперсионного анализа по формуле, предложенной П. Ф. Рокицким (Rokitsky, 1973). Оценку различий в накоплении минеральных элементов в зерне между группами (сорта, образцы видов *Triticum*, интрогрессивные линии) проводили с помощью дисперсионного анализа и критерия Тьюки.

Результаты

Проведен анализ содержания макро- и микроэлементов в зерне родительских сортов мягкой пшеницы и видов рода *Triticum*, а также интрогрессивных линий, полученных с их участием (урожай 2018 и 2020 г.). Для оценки значимости и величины вклада генетического фактора и условий года выращивания в формирование минерального состава зерна был проведен двухфакторный дисперсионный анализ. Установлено достоверное влияние генотипа, условий года выращивания и их взаимодействия на формирование минерального состава зерна пшеницы ($P < 0,05$). Исключение составил только признак «содержание азота», для которого не выявлено статистически значимого генотип-средового взаимодействия. По данным дисперсионного анализа генетические

факторы вносят наибольший вклад в изменчивость накопления P, K, Mg и Fe, а условия года выращивания – N, Ca и Mn (рис. 1).

Концентрация Zn у образцов сородичей пшеницы находилась в пределах 30,27–36,70 мг/кг, Fe – 45,05–76,31 мг/кг, что значимо выше, чем у изученных сортов

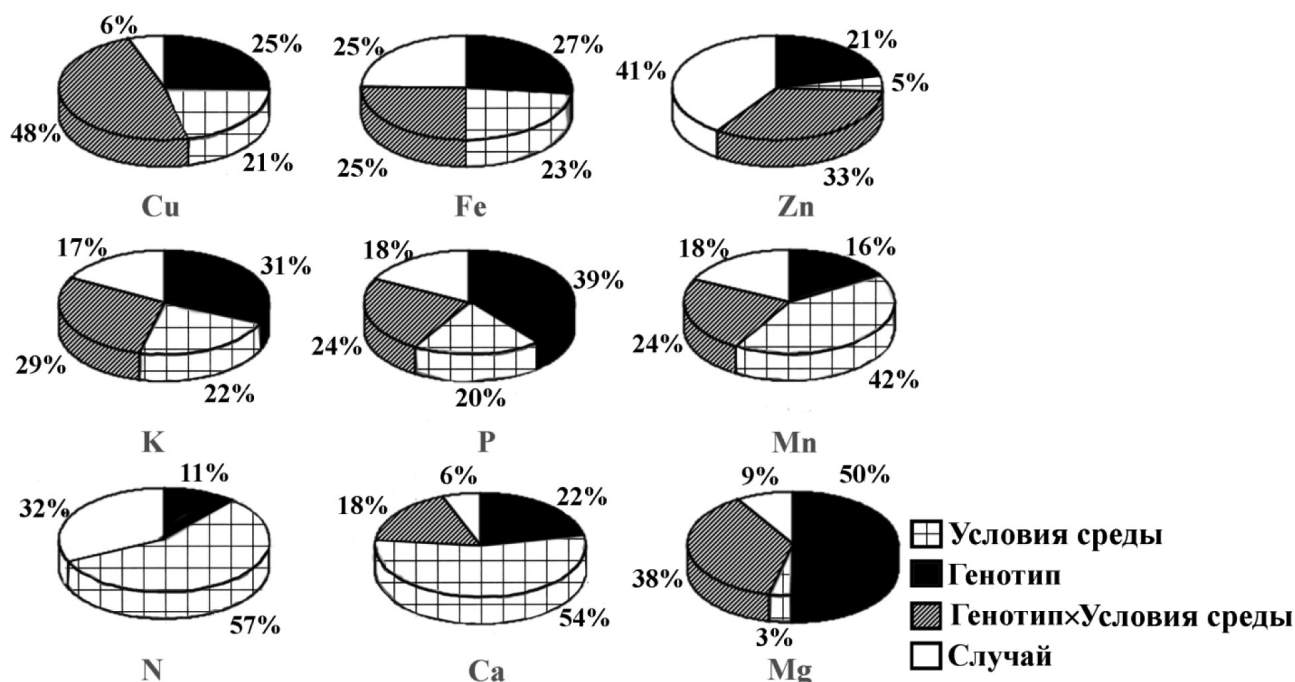


Рис. 1. Вклад факторов в изменчивость содержания минеральных элементов в зерне интрогрессивных линий пшеницы и их родительских форм

Fig. 1. Factors contributing to mineral content variation in the grain of wheat introgression lines and their parental forms

Генотип-средовые взаимодействия преобладают в вариации уровня Cu, Zn и минимальны для Ca. Остатки необъясненной дисперсии велики (> 30%) для содержания Zn и N; вероятно, повторение эксперимента в новых экологических условиях поможет отнести долю случайной вариации к одному из значимых факторов.

Оценку различий в уровне накопления минеральных элементов в зерне (среднее значение за два года) между группами (сорта, образцы видов *Triticum*, интрогрессивные линии) проводили на основании дисперсионного анализа и теста множественных сравнений Тьюки. Согласно критерию Тьюки сородичи пшеницы достоверно превосходили сорта мягкой пшеницы по накоплению всех изученных элементов, за исключением Ca и Mn (таблица). В нашем исследовании содержание азота у родственных видов пшеницы варьировало от 2,84 до 3,91%, а у сортов – от 2,14 до 2,88%. Уровень накопления P и Mg у видов рода *Triticum* в среднем составил 6341,78 и 1712,81 мг/кг соответственно, что в 1,28 раза выше, чем у исследованных сортов (рис. 2). Самое высокое содержание N, P, Mg, K обнаружено у образца № 1 *T. dicoccoides* (номер по каталогу ВИР неизвестен). Значительный уровень калия также отмечен для *T. spelta* к-1731 (6078,44 мг/кг), а магния – для *T. kiharae* (1842,91 мг/кг). По накоплению Ca выявлено статистически недостоверное превышение сородичей пшеницы (в среднем 362,52 мг/кг) над сортами (в среднем 354,12). Больше всего данного элемента содержится в зерне образца культурной полбы (*T. dicoccut* к-45926). Сорта в 2,3 раза уступают родственным видам в содержании меди в зерне и характеризуются очень узким диапазоном изменчивости этого признака.

(см. рис. 2). Не показано достоверных различий по уровню накопления Mn между сортами мягкой пшеницы (в среднем 23,99 мг/кг) и видами рода *Triticum* (в среднем 24,84 мг/кг).

Повышенный уровень накопления минералов в зерне у родственных видов мягкой пшеницы по сравнению с сортами установлен в оба года исследования, за исключением Ca и Mn в 2020 г. (см. рис. 2).

В среднем за два года значения содержания всех изученных микроэлементов в зерне интрогрессивных линий значимо превышали исходные сорта пшеницы, но уступали сородичам пшеницы (см. таблицу). Можно отметить, что такая тенденция наблюдалась для Zn и Cu в оба года исследования, однако в 2020 г. накопление Fe и Mn у линий было на уровне сортов (см. рис. 2). Подавляющее большинство интрогрессивных линий превосходили родительские сорта по уровню накопления микроэлементов. Например, из 20 линий концентрация цинка ниже исходного сорта была только у Л20-1 (*T. kiharae* × Саратовская 29), а меди – только у Л29 (Рассвет × *T. dicoccoides* к-5199). По содержанию марганца и железа уровня родительского сорта не достигали три и шесть линий соответственно.

Концентрация N, P, Mg, K у интрогрессивных линий была ближе к значениям сорта и значимо уступала показателям сородичей пшеницы в оба года исследования (см. таблицу, рис. 2). Для содержания Ca в зерне уровень внутригрупповой вариации превышал межгрупповую вариацию и достоверных различий между сортами, видами рода *Triticum* и интрогрессивными линиями по данному признаку не найдено (см. таблицу). Анализ внутригрупповой дисперсии и диаграммы размаха показывают,

Таблица. Значимость различий (критерий Тьюки) в накоплении минеральных элементов в зерне между группами (сорта, образцы видов *Triticum*, интрогрессивные линии)**Table. Difference testing (Tukey's test) of mineral concentrations in grain among the wheat groups (cultivars, accessions of *Triticum* spp., and introgression lines)**

Признак	Группы	t (критерий Тьюки)
N	Сорта <i>T. aestivum</i> – <i>Triticum</i> sp.	-3,43**
	ИЛ – сорта <i>T. aestivum</i>	1,23
	ИЛ – <i>Triticum</i> sp.	-3,34**
P	Сорта <i>T. aestivum</i> – <i>Triticum</i> sp.	-6,90***
	ИЛ – сорта <i>T. aestivum</i>	0,22
	ИЛ – <i>Triticum</i> sp.	-9,01***
Ca	Сорта <i>T. aestivum</i> – <i>Triticum</i> sp.	-0,30
	ИЛ – сорта <i>T. aestivum</i>	-0,56
	ИЛ – <i>Triticum</i> sp.	-1,01
Mg	Сорта <i>T. aestivum</i> – <i>Triticum</i> sp.	-6,47***
	ИЛ – сорта <i>T. aestivum</i>	1,70
	ИЛ – <i>Triticum</i> sp.	-6,82***
K	Сорта <i>T. aestivum</i> – <i>Triticum</i> sp.	-3,35**
	ИЛ – сорта <i>T. aestivum</i>	0,75
	ИЛ – <i>Triticum</i> sp.	-3,68***
Zn	Сорта <i>T. aestivum</i> – <i>Triticum</i> sp.	-4,04***
	ИЛ – сорта <i>T. aestivum</i>	4,36***
	ИЛ – <i>Triticum</i> sp.	-0,63
Fe	Сорта <i>T. aestivum</i> – <i>Triticum</i> sp.	-4,54***
	ИЛ – сорта <i>T. aestivum</i>	2,73*
	ИЛ – <i>Triticum</i> sp.	-3,11**
Mn	Сорта <i>T. aestivum</i> – <i>Triticum</i> sp.	-1,12
	ИЛ – сорта <i>T. aestivum</i>	2,45*
	ИЛ – <i>Triticum</i> sp.	1,21
Cu	Сорта <i>T. aestivum</i> – <i>Triticum</i> sp.	-3,95***
	ИЛ – сорта <i>T. aestivum</i>	2,91*
	ИЛ – <i>Triticum</i> sp.	-2,12

Примечание: ИЛ – интрогрессивные линии; * – достоверно при $P < 0,05$; ** – достоверно при $P < 0,01$; *** – достоверно при $P < 0,001$

Note: ИЛ – introgressive lines; * – statistically significant at $P < 0.05$; ** – statistically significant at $P < 0.01$; *** – statistically significant at $P < 0.001$

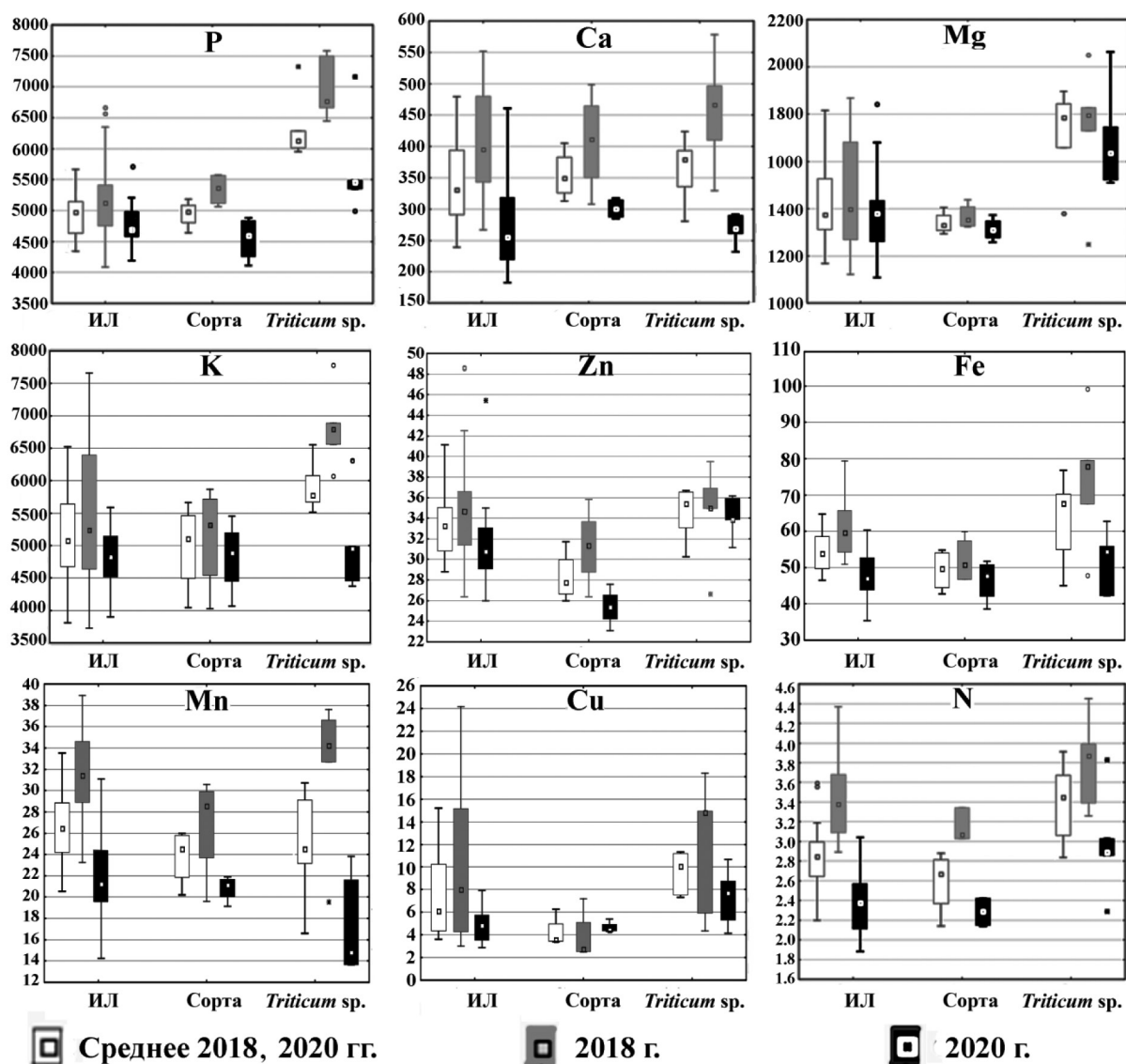


Рис. 2. Диаграммы размаха содержания макро- и микроэлементов в зерне трех групп генотипов пшеницы (сорта, образцы видов *Triticum* sp., интрогрессивные линии) в среднем за два года, в 2018 г. и 2020 г.:

ИЛ – интрогрессивные линии; ● – медиана; □ – 25–75%; I – размах; ○ – выбросы; * – экстремумы

Fig. 2. Boxplot of macro- and micronutrient variation in the three groups of wheat genotypes (cultivars, accessions of *Triticum* spp., and introgression lines) averaged for two years (2018 and 2020):

ИЛ – introgression lines; ● – median; □ – 25–75%; I – range; ○ – outliers; * – extremes

что среди интрогрессивных линий присутствуют генотипы, достигающие уровня лучшего родителя по отдельным признакам. Например, в среднем за два года по накоплению Mn превышали обоих родителей линии 11-1, 13-3, 16-5, 25-2; по Ca – 11-1 и 20-1; по Cu – 20-1 и 25-2. Следует отметить особенно высокое содержание калия у 208-3 и 206-2 (Pitic S62 × *T. dicoccum* к-45926) – 6522,8 и 6636,32 мг/кг соответственно, по уровню которого они превышали как родительские формы, так и остальные интрогрессивные линии. Линии 11-1 и 16-5 (*T. dicoccoides* × Фестивальная) по концентрации цинка (41,15 и 40,39 мг/кг соответственно) превосходили обоих родителей, что может указывать на наличие у исходных форм разных генов, детерминирующих накопление цинка в зерне. По данным Z. Peleg с соавторами (Peleg et al., 2009), с содержанием цинка в зерне гибридов от скрещивания твердой пшеницы сорта 'Langdon' и образца дикой полбы G18-16 ассоциировано шесть QTL, причем пять из

них – аллели дикой полбы на хромосомах 2A, 5A, 6B, 7A, 7B и один – аллель сорта на хромосоме 2A.

Для поиска общих закономерностей между минеральным составом, содержанием белка и массой 1000 зерен мы использовали анализ главных компонент, основанный на корреляционной матрице 29 генотипов пшеницы. Для удобства оценки данных за два года об изученных признаках интрогрессивных линий пшеницы и их родительских форм график счетов трех первых компонент PCA представлен в виде Wafer-диаграммы, совмещенной с проекцией переменных на факторные оси (рис. 3). На основании собственных значений (Eigen value, EV > 1) были выделены три главные компоненты, объясняющие большую часть общей дисперсии (70,8%). Первая компонента (EV = 5,00; 45,2% изменчивости) разделяет генотипы пшеницы по содержанию белка, N, P, Mg, Zn, Fe и Cu в зерне, вторая (EV = 1,5; 13,2% изменчивости) – по массе 1000 зерен, уровню Mn и в меньшей степе-

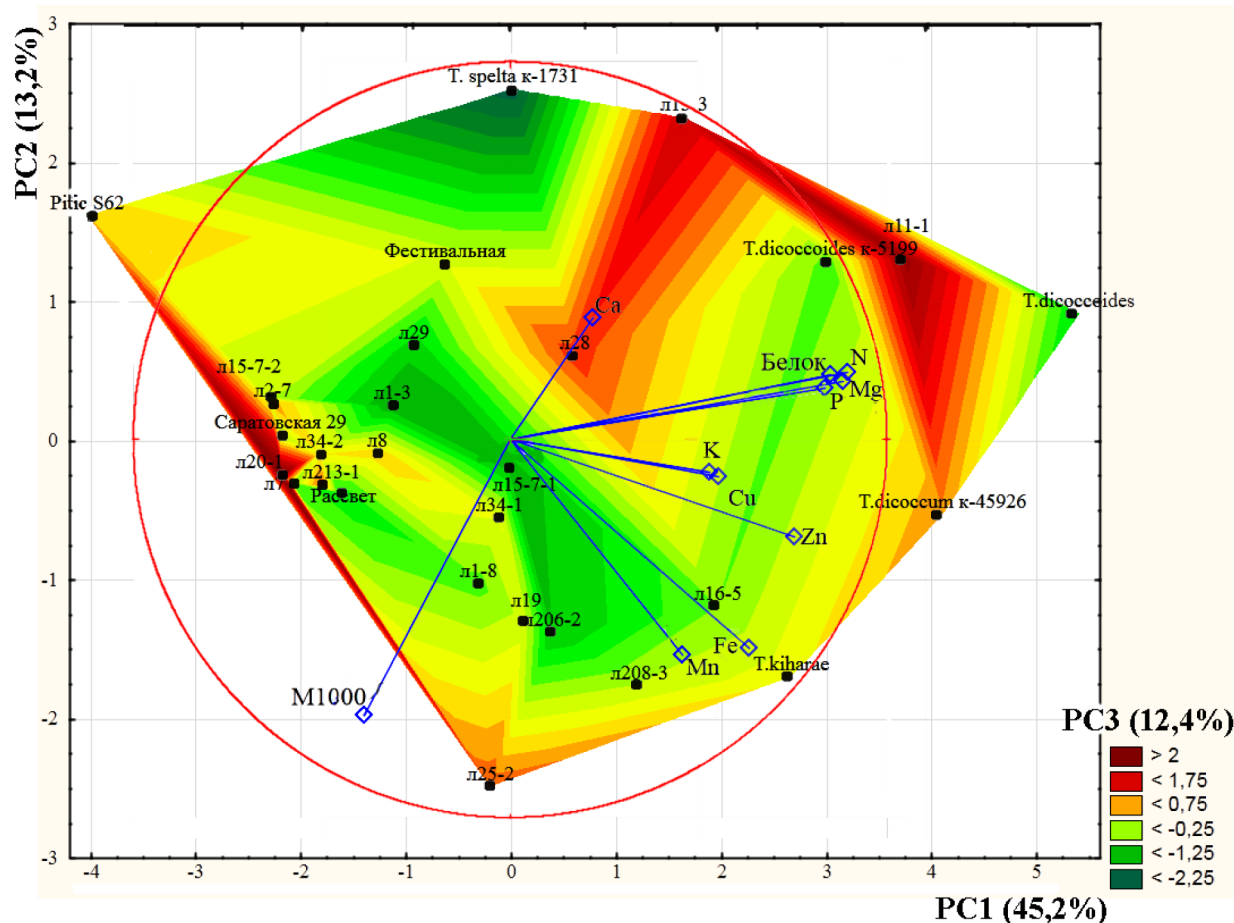


Рис. 3. Wafer-диаграмма счетов наблюдений 29 генотипов пшеницы в плоскости трех первых главных компонент

Fig. 3. Wafer diagram of principal component scores for 29 wheat genotypes (PC1, PC2 and PC3 plane)

ни, чем первый фактор – Fe, третья (EV = 1,4; 12,4% изменчивости) – по градиенту К – Са. Именно эти факторы наиболее сильно отражают вариацию состава зерна родительских форм и интрогрессивных линий пшеницы.

На графике счетов не наблюдается четкого разделения наблюдений на дискретные группы (см. рис. 3). Крайне обедненным минеральным составом и низким содержанием белка в зерне характеризуется сорт 'Pitic S62'. Исследование графика и таблиц исходных данных позволяет сделать вывод, что исходные сорта *T. aestivum* – 'Рассвет', 'Фестивальная' и 'Саратовская 29' – относятся к высокопродуктивным, но относительно бедным по содержанию нутриентов генотипам. Близкими к родительским сортам по составу зерна и продуктивности являются все линии (2-7, 1-3) комбинации *T. dicoccum* к-45926 × Фестивальная; три линии (7, 8, 20-1), полученные на основе сорта 'Саратовская 29'; а также линия 15-7-2 (*T. dicoccoides* × Фестивальная).

Положительные значения координат первой главной компоненты, определяющей высокое накопление белка, N, P, Mg, Zn, Fe и Cu, получены для всех пяти родственных видов пшеницы и восьми интрогрессивных линий четырех комбинаций скрещивания: 11-1, 13-3, 16-5, 15-7-1 (*T. dicoccoides* × Фестивальная), 206-2 и 208-3 (Pitic S62 × *T. dicoccum* к-45926), Л19 (*T. kiharae* × Саратовская 29), Л28 (*T. kiharae* × Фестивальная). При этом образец *T. kiharae* и линии 206-2, 208-3, 16-5, 15-7-1, 19 имеют отрицательные счета второй главной компоненты, ассоциированной с высокими показателями по массе зерна

и уровню Mn. Самая низкая координата второй главной компоненты соответствует интрогрессивной линии 25-2 (*T. kiharae* × Саратовская 29). Это крупносеменной гибрид с максимальным содержанием Mn в зерне среди всех образцов коллекции (см. рис. 3). Третья главная компонента прямо коррелирует с уровнем К в зерне и обратно зависима от накопления Са. В среднем за два года высокое содержание К (6078,44 мг/кг) при низком уровне Са (280,63 мг/кг) характерно для образца *T. spelta* к-1731. Обратное соотношение данных элементов – для линии 20-1 (*T. kiharae* × Саратовская 29). Ценным источником калия на фоне высокого содержания других элементов были образцы *T. dicoccoides* к-5199, № 1 *T. dicoccoides*, *T. spelta* к-1731 и линии 208-3, 206-2, 16-5, 15-7-1 (см. рис. 3).

Для линий с генетическим материалом *T. dicoccoides* выявлено максимально высокое накопление N, P, Ca, Mg и Zn (в среднем 3,12%; 5135,15 мг/кг; 352,66 мг/кг; 1476,04 мг/кг; 34,88 мг/кг соответственно) среди всех изученных интрогрессивных линий. По комплексу признаков выделялись линии 11-1 и 16-5 комбинации (*T. dicoccoides* × Фестивальная), которые превосходили исходный сорт по всем изученным макро- и микроэлементам, за исключением Fe и Са соответственно. Кроме того, линия 11-1 имела максимальное содержание Ca, Mg, Zn и Mn среди линий с чужеродным генетическим материалом.

Максимальный уровень К и Fe среди интрогрессивных линий характерен для генотипов на основе *T. dicoccum* к-45926 (в среднем 5646,28 и 55,21 мг/кг соответ-

ственно). Следует отметить особенно высокое накопление данных элементов у линий 208-3 и 206-2 (Pitic S62 × *T. dicoccum* к-45926). Все линии этой комбинации превышали исходный сорт по содержанию изученных элементов, за исключением Ca (линии 208-3 и 206-2) и Mg (линия 213-1).

Содержание N, P, K, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu у *T. kiharae* было выше, чем у сортов, при этом у линий (*T. kiharae* × *T. aestivum*) накопление N, P, K, Mg, Fe было ближе к значениям сорта, а Zn, Mn, Cu – к *T. kiharae*. Линии 19 и 25-2 (*T. kiharae* × Фестивальная) по содержанию микроэлементов значительно превосходили родительский сорт.

Обсуждение

Азот – один из самых важных элементов питания растений, который входит в состав аминокислот и белков, а также является компонентом хлорофилла и различных коферментов. Калий и фосфор принимают участие в дыхании, фотосинтезе, образовании сложных органических соединений (в частности в синтезе белка). Магний – важный компонент в молекуле хлорофилла, поэтому его роль в процессе фотосинтеза особенно велика. Кальций относительно неподвижен, трудно перераспределяется в растительных тканях и является структурной составляющей клеточной стенки и мембран (Marschner, 2012). Недостаточное количество данных нутриентов приводит к ослаблению фотосинтетической активности, нарушению нормального роста и деления клеток, падению интенсивности синтеза протеина, что может привести к значительному снижению урожая пшеницы. Анализ сортов и сородичей пшеницы показал повышенный уровень содержания макроэлементов у видов рода *Triticum*. В работах зарубежных ученых также отмечается превышение концентрации минералов в зерне родственных видов и ландрас над культивируемыми селекционными сортами пшеницы. Установлено значительно более высокое накопление основных макро- и микроэлементов в зерне образцов дикой полбы по сравнению с сортами *T. aestivum* (Chatzav et al., 2010). В отдельных исследованиях приводятся данные о перспективности использования видов *Aegilops* в качестве источников высокого содержания минералов в зерне (Kumar et al., 2019; Tiwari et al., 2010).

Недостаток микроэлементов сказывается на многих метаболических процессах растений, включая первичный и вторичный обмен веществ, клеточный иммунитет, регуляцию активности генов, работу рецепторов гормонов и сигнальных молекул. Чрезвычайно важная роль в клеточном метаболизме выявлена для цинка. Этот микроэлемент входит в состав или является активатором более 300 ферментов, относящихся ко всем шести классам: оксидоредуктазам, трансферазам, гидролазам, лиазам, изомеразам, лигазам (Hänsch, Mendel, 2009). Учитывая столь многоплановую роль цинка, неудивительно, что его дефицит оказывает сильное негативное воздействие на растения: у них замедляется рост, снижается накопление биомассы, а у злаков резко уменьшается (иногда до 80%) семенная продуктивность. Среди всех изученных нами родительских форм наибольшее содержание цинка в зерне выявлено у *T. dicoccoides* к-5199 (средняя за два года 36,70 мг/кг). Известно, что образцы дикой полбы характеризуются большой вариабельностью и высокой концентрацией данного микроэлемента в зерне (накопление Zn может достигать 159 мг/кг) (Сакмак et al., 2010). По нашим данным, сородичи мягкой пшени-

цы достоверно превышали сорта по накоплению цинка. Такая тенденция показана и в исследованиях зарубежных ученых. В работе М. Chatzav с соавторами при оценке коллекции, включающей образцы *T. dicoccoides* и сорта твердой и мягкой пшеницы, максимальные значения концентрации Zn в зерне дикой полбы в два раза превышали значения этого показателя у образцов культурных видов (Chatzav et al., 2010). Значительное превосходство сородичей пшеницы над *T. aestivum* по данному показателю установлено и другими авторами (Zhao et al., 2009; Liu et al., 2021).

Железо и медь влияют не только на углеводный и белковый обмен растений, но и повышают интенсивность дыхания и фотосинтеза (Hänsch, Mendel, 2009). Одна из важнейших функций Fe – участие в синтезе хлорофилла, а Cu – участие в окислительно-восстановительных реакциях. Самая высокая концентрация Fe (средняя за два года 76,81 мг/кг) нами выявлена у образца *T. dicoccum* к-45926, что согласуется с данными литературы. Например, в работе А. F. Balint с соавторами при сравнении содержания микроэлементов в зерне дикорастущих и культурных пшениц наибольший уровень железа также установлен для *T. dicoccum* (Balint et al., 2001). В нашем исследовании значительное превышение (в 2,13 раза) по накоплению Cu отмечено у родственных видов пшеницы по сравнению с сортами *T. aestivum*. Высокий уровень Cu характерен для образцов *T. dicoccum* к-45926 (11,35 мг/кг) и № 1 *T. dicoccoides* (11,22 мг/кг). Зарубежные коллеги также отмечают высокую концентрацию меди в зерне дикой полбы (в среднем 8,0 мг/кг), в то время как у современных сортов пшеницы этот показатель составил 4,1 мг/кг (Balint et al., 2001; Murphy et al., 2008).

Таким образом, средние значения содержания макро- и микронутриентов в зерне видов рода *Triticum* были выше, чем у сортов *T. aestivum* (в среднем за два года от 1,02 до 2,13 раза в зависимости от элемента), что указывает на возможность использования видов для улучшения мягкой пшеницы по минеральному составу зерна. Для дикой полбы были выявлены максимальные значения по содержанию N, P, K, Mg и Zn, для культурной полбы – Ca, Fe и Cu, для *T. kiharae* – Mn. Отмечен также близкий к максимальному уровень накопления Cu у № 1 *T. dicoccoides*, Zn – у *T. dicoccum* к-45926, Mg и Fe – у *T. kiharae* и K – у *T. spelta* к-1731.

Помимо описания общей дисперсии переменных, анализ главных компонент извлекает максимум изменчивости в новый набор данных – главные компоненты (факторы). Каждая главная компонента представляет собой линейную комбинацию исходных переменных, и может быть описана исходя из их вклада в изменчивость. PCA установил различный уровень сходства по признакам минерального состава, уровня накопления белка и массы 1000 зерен между интрогрессивными линиями и видом рода *Triticum*, на основе которого они были созданы. Близкие к исходным сортам значения массы 1000 зерен и питательного состава имеют линии, полученные на основе *T. spelta*. Обе линии (7 и 1-8) практически по всем признакам существенно отклоняются от спельты. При этом для линий с генетическим материалом *T. dicoccoides*, *T. dicoccum* и *T. kiharae* характерна широкая дисперсия значений признаков накопления нутриентов в зерне. Например, группа линий на основе дикой полбы включает как низкопродуктивные высокобелковые формы с высокой концентрацией микроэлементов, N, P и Mg (линии 11-1, 13-3), так и варианты с более низкой питательной ценностью и высокой массой

1000 зерен (линии 8, 15-7-2). Наибольшую ценность представляют линии 16-5 и 15-7-1 (*T. dicoccoides* × Фестивальная), имеющие высокие показатели по биохимическому составу зерна и продуктивности.

Двухфакторный дисперсионный анализ показал высокую статистическую значимость вклада генотипа, условий года и их взаимодействия в формирование минерального состава зерна изученных нами генотипов. Зарубежными учеными при исследовании концентрации основных минералов в зерне 19 образцов дикой полбы в различных условиях среды также показано достоверное влияние всех факторов на накопление макро- и микроэлементов (Gomez-Becerra et al., 2010). Максимальный эффект остатков нами установлен для содержания цинка в зерне (41%). Можно отметить, что для этого признака характерен также высокий вклад взаимодействия «генотип × среда» (33%) и низкая доля влияния условий среды (5%). Аналогичные результаты получены учеными, изучавшими изменчивость концентрации Zn в зерне пшеницы, выращиваемой в шести различных регионах Индии на протяжении двух сезонов. В данной работе остатки необъясненной дисперсии для концентрации Zn были велики – 64%, в то время как доля влияния генотипа, среды и их взаимодействия составила 10%, 6% и 20% соответственно (Khokhar et al., 2018). Высокое генотип-средовое взаимодействие выявлено для содержания минералов в зерне культивируемых пшениц (Morgounov et al., 2007) и других зерновых культур (Peleg et al., 2008; Oikeh et al., 2003). В нашем исследовании доля изменчивости, обусловленная взаимодействием «генотип × среда», для большинства изученных признаков также была на высоком уровне (см. рис. 1). Данный факт необходимо учитывать в процессе селекции и отбирать генотипы, характеризующиеся стабильно высоким уровнем накопления минеральных элементов в зерне в различных условиях. Выделены интрогрессивные линии, превосходящие родительские сорта по содержанию комплексов элементов в оба года:

– N, P, K, Zn, Fe, Mn, Cu – линии 208-3 и 206-2 (Pitic S62 × *T. dicoccum* к-45926);

– N, Mg, Zn, Mn, Cu – линия 11-1; N, P, K, Mg, Zn, Fe, Cu – 16-5; N, Mg, Zn, Cu – 15-7-1. Все линии отобраны из комбинации скрещивания *T. dicoccoides* × Фестивальная;

– N, Mg, Fe, Mn – линия 19 и N, Mg, Fe, Mn, Cu – линия 25-2. Обе линии отобраны из гибрида *T. kiharae* × Саратовская 29;

– Mg, Zn, Fe, Mn, Cu – линия 34-1 (*T. kiharae* × Фестивальная).

Все перечисленные выше линии также имели высокие значения по массе 1000 зерен, за исключением 11-1, что повышает их ценность для селекции.

Заключение

Изучение макро- и микронутриентов в зерне показало, что их содержание было выше у дикой полбы и редких, малокультурных видов рода *Triticum*, чем у сортов *T. aestivum* (в среднем за два года от 1,02 до 2,13 раза в зависимости от элемента), что указывает на возможность использования видов для улучшения мягкой пшеницы по минеральному составу зерна. Для дикой полбы выявлены максимальные значения по содержанию N, P, K, Mg и Zn, для культурной полбы – Ca, Fe и Cu, для *T. kiharae* – Mn. Линии с генетическим материалом *T. dicoccoides*, *T. dicoccum* и *T. kiharae* характеризовались широкой дисперсией значений признаков накопления нутриен-

тов в зерне. Интрогрессивные линии, как правило, превосходили родительские сорта мягкой пшеницы, но уступали видам рода *Triticum* по накоплению Zn, Fe, Cu, Mn. Концентрация N, P, Mg, K у большинства интрогрессивных линий была ближе к значениям сорта и уступала показателям сородичей пшеницы. Установлена высокая статистическая значимость вклада генотипа, условий года и их взаимодействия в изменчивость содержания макро- и микроэлементов в зерне исследованных генотипов. Выделены интрогрессивные линии, имеющие стабильно высокие показатели как по минеральному составу зерна, так и продуктивности: 208-3 и 206-2 (Pitic S62 × *T. dicoccum* к-45926), 15-7-1 и 16-5 (*T. dicoccoides* × Фестивальная), 19 и 25-2 (*T. kiharae* × Саратовская 29), 34-1 (*T. kiharae* × Фестивальная). Данные линии представляют интерес для селекции пшеницы на качество зерна.

References / Литература

- Balint A.F., Kovacs G., Erdei L., Sutka J. Comparison of the Cu, Zn, Fe, Ca and Mg contents of the grains of wild, ancient and cultivated wheat species. *Cereal Research Communications*. 2001;29(3-4):375-382. DOI: 10.1007/BF03543684
- Cakmak I., Ozkan H., Braun H.J., Welch R.M., Romheld V. Zinc and iron concentrations in seeds of wild, primitive and modern wheats. *Food and Nutrition Bulletin*. 2000;21(4):401-403. DOI: 10.1177/156482650002100411
- Cakmak I., Pfeiffer W.H., McClafferty B. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chemistry*. 2010;87(1):10-20. DOI: 10.1094/CCHEM-87-1-0010
- Cakmak I., Torun A., Millet E., Feldman M., Fahima T., Korol A. et al. *Triticum dicoccoides*: An important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2004;50(7):1047-1054. DOI: 10.1080/00380768.2004.10408573
- Chatzav M., Peleg Z., Ozturk L., Yazici A., Fahima T., Cakmak I. et al. Genetic diversity for grain nutrients in wild emmer wheat: potential for wheat improvement. *Annals of Botany*. 2010;105(7):1211-1220. DOI: 10.1093/aob/mcq024
- Gomez-Becerra H.F., Yazici A., Ozturk L., Budak H., Peleg Z., Morgounov A. et al. Genetic variation and environmental stability of grain mineral nutrient concentrations in *Triticum dicoccoides* under five environments. *Euphytica*. 2010;171(1):39-52. DOI: 10.1007/s10681-009-9987-3
- GOST 10846-91. Interstate standard. Grain and products of its processing. Method for determination of protein. Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ 10846-91. Межгосударственный стандарт. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. Москва: Стандартинформ; 2009). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023864> [дата обращения: 10.08.2022].
- Gupta P.K., Balyan H.S., Sharma S., Kumar R. Biofortification and bioavailability of Zn, Fe and Se in wheat: present status and future prospects. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134(1):1-35. DOI: 10.1007/s00122-020-03709-7
- Hänsch R., Mendel R.R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*. 2009;12(3):259-266. DOI: 10.1016/j.pbi.2009.05.006
- Khokhar J.S., Sareen S., Tyagi B.S., Singh G., Wilson L., King I.P. et al. Variation in grain Zn concentration, and the grain ionome, in field-grown Indian wheat. *PLoS One*. 2018;13(1):e0192026. DOI: 10.1371/journal.pone.0192026
- Kumar A., Kapoor P., Chunduri V., Sharma S., Garg M. Potential of *Aegilops* sp. for improvement of grain processing and

- nutritional quality in wheat (*Triticum aestivum*). *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:308. DOI: 10.3389/fpls.2019.00308
- Leonova I.N., Salina E.A., Shumny V.K., Badaeva E.D., Orlovskaya O.A., Khotyleva L.V. et al. Comparative characteristic of *Triticum aestivum*/*Triticum durum* and *Triticum aestivum*/*Triticum dicoccum* hybrid lines by genomic composition and resistance to fungal diseases under different environmental conditions. *Russian Journal of Genetics*. 2013;49(11):1276-1283. DOI: 10.1134/S1022795413110136
- Liu J., Huang L., Li T., Liu Y., Yan Z., Tang G. et al. Genome-wide association study for grain micronutrient concentrations in wheat advanced lines derived from wild emmer. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:651283. DOI: 10.3389/fpls.2021.651283
- Marschner P. (ed.). Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. London: Academic Press; 2011. DOI: 10.1016/C2009-0-63043-9
- Morgounov A., Gomez-Becerra H.F., Abugalieva A., Dzhunusova M., Yessimbekova M., Muminjanov H. et al. Iron and zinc grain density in common wheat grown in Central Asia. *Euphytica*. 2007;155(1-2):193-203. DOI: 10.1007/s10681-006-9321-2
- Murphy K.M., Reeves P.G., Jones S.S. Relationship between yield and mineral nutrient concentrations in historical and modern spring wheat cultivars. *Euphytica*. 2008;163(3):381-390. DOI: 10.1007/s10681-008-9681-x
- Oikeh S.O., Menkir A., Maziya-Dixon B., Welch R., Glahn R.P., Gauch Jr. G. Environmental stability of iron and zinc concentrations in grain of elite early-maturing tropical maize genotypes grown under field conditions. *The Journal of Agricultural Science*. 2004;142(5):543-551. DOI: 10.1017/S0021859604004733
- Orlovskaya O., Dubovets N., Solovey L., Leonova I. Molecular cytological analysis of alien introgressions in common wheat lines derived from the cross of *Triticum aestivum* with *T. kiharae*. *BMC Plant Biology*. 2020;20 (Suppl. 1):201. DOI: 10.1186/s12870-020-02407-2
- Peleg Z., Cakmak I., Ozturk L., Yazici A., Jun Y., Budak H. et al. Quantitative trait loci conferring grain mineral nutrient concentrations in durum wheat × wild emmer wheat RIL population. *Theoretical and Applied Genetics*. 2009;119(2):353-369. DOI: 10.1007/s00122-009-1044-z
- Peleg Z., Saranga Y., Yazici A., Fahima T., Ozturk L., Cakmak I. Grain zinc, iron and protein concentrations and zinc-efficiency in wild emmer wheat under contrasting irrigation regimes. *Plant Soil*. 2008;306:57-67. DOI: 10.1007/s11104-007-9417-z
- Rokitsky P.F. Biological statistics (Biologicheskaya statistika). 3rd ed. Minsk; 1973. [in Russian] (Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика. 3-е изд. Минск; 1973).
- Tiwari V.K., Rawat N., Neelam K., Kumar S., Randhawa G.S., Dhaliwal H.S. Substitutions of 2S and 7U chromosomes of *Aegilops kotschy* in wheat enhance grain iron and zinc concentration. *Theoretical and Applied Genetics*. 2010;121(2):259-269. DOI: 10.1007/s00122-010-1307-8
- Zhao F.J., Su Y.H., Dunham S.J., Rakszegi M., Bedo Z., McGrath S.P. et al. Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. *Journal of Cereal Science*. 2009;49(2):290-295. DOI: 10.1016/j.jcs.2008.11.007

Информация об авторах

Ольга Александровна Орловская, кандидат биологических наук, заместитель заведующего лабораторией, Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси, 220072 Беларусь, Минск, ул. Академическая, 27, O.Orlovskaya@igc.by, <https://orcid.org/0000-0002-1187-1317>

Светлана Ивановна Вакула, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси, 220072 Беларусь, Минск, ул. Академическая, 27, svettera@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2242-7107>

Любовь Владимировна Хотылева, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси, 220072 Беларусь, Минск, ул. Академическая, 27, lvkhotyleva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0295-5022>

Александр Владимирович Кильчевский, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси, 220072 Беларусь, Минск, ул. Академическая, 27, Kilchev@presidium.bas-net.by, <https://orcid.org/0000-0002-0175-9786>

Information about the authors

Olga A. Orlovskaya, Cand. Sci. (Biology), Deputy Head of a Laboratory, Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus, 27 Akademicheskaya St., Minsk 220072, Belarus, O.Orlovskaya@igc.by, <https://orcid.org/0000-0002-1187-1317>

Svetlana I. Vakula, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus, 27 Akademicheskaya St., Minsk 220072, Belarus, svettera@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2242-7107>

Lubov V. Khotyleva, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus, 27 Akademicheskaya St., Minsk 220072, Belarus, lvkhotyleva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0295-5022>

Alexander V. Kilchevsky, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus, 27 Akademicheskaya St., Minsk 220072, Belarus, Kilchev@presidium.bas-net.by, <https://orcid.org/0000-0002-0175-9786>

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 22.06.2022; одобрена после рецензирования 01.08.2022; принята к публикации 02.03.2023.

The article was submitted on 22.06.2022; approved after reviewing on 01.08.2022; accepted for publication on 02.03.2023.

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 634.74:631.526.32:57

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-53-69



Исследование комплекса биологически активных веществ в плодах перспективных сортов жимолости голубой (*Lonicera caerulea* L.)

И. Б. Перова¹, К. И. Эллер¹, М. А. Герасимов^{1,2}, В. А. Батурина¹,
М. Ю. Акимов³, О. М. Акимова³, А. М. Миронов³, В. А. Кольцов³

¹ Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия

² Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, Россия

³ Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, Мичуринск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ирина Борисовна Перова, Erin.Feather@yandex.ru

Актуальность. Жимолость голубая (*Lonicera caerulea* L.) является ценным источником биологически активных веществ (БАВ) полифенольной природы и редких для плодовых культур иридоидов, обладающих антиоксидантными, противовоспалительными, антимикробными и другими свойствами и широко применяемых в пищевой, медицинской и косметической промышленности.

Материалы и методы. В работе представлено исследование плодов 20 селекционных сортов жимолости российского, канадского и американского происхождения, репродуцированных в Федеральном научном центре имени И.В. Мичурина в Тамбовской области, на содержание основных групп БАВ с использованием современных методов (спектрофотометрия, ВЭЖХ с фото-, рефракто- и масс-спектрометрическим детектированием).

Результаты и обсуждение. Детально изучены основные группы БАВ (содержание и профиль антоцианиновых пигментов, проантоцианидинов, флавонолов и флавонов, гидроксикоричных кислот, иридоидов, органических кислот), а также моно- и дисахариды. Проведено сравнительное исследование биологической ценности отечественных и зарубежных сортов жимолости. **Заключение.** По результатам исследования определены наиболее перспективные сорта жимолости в аспекте содержания основных групп БАВ.

Ключевые слова: жимолость, антоцианины, проантоцианидины; флавоноиды, гидроксикоричные кислоты, иридоиды

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по части 5 «Разработка методов выделения, идентификации и оценка биологической активности антоцианинов отечественного ягодного сырья» комплексной научной темы № 0410-2022-0003 «Разработка комплексной системы оценки безопасности пищевых ингредиентов, БАВ и пищевой продукции нового вида, полученной из нетрадиционных и новых источников».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Перова И.Б., Эллер К.И., Герасимов М.А., Батурина В.А., Акимов М.Ю., Акимова О.М., Миронов А.М., Кольцов В.А. Исследование комплекса биологически активных веществ в плодах перспективных сортов жимолости голубой (*Lonicera caerulea* L.). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):53-69. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-53-69

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-53-69

A study of a complex of bioactive compounds in the fruits of promising blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) cultivars**Irina B. Perova¹, Konstantin I. Eller¹, Makar A. Gerasimov^{1, 2}, Vera A. Baturina¹, Mikhail Yu. Akimov³, Olga M. Akimova³, Alexey M. Mironov³, Vladimir A. Koltsov³**¹ Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia.³ I.V. Michurin Federal Science Center, Michurinsk, Russia**Corresponding author:** Irina B. Perova, Erin.Feather@yandex.ru

Background. Blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) is a valuable source of bioactive compounds (BAC) of polyphenolic nature and rare for horticultural berries iridoids, which have antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial and other properties and are widely used in the food, medical and cosmetic industries.

Materials and methods. The berries of 20 released honeysuckle cultivars of Russian, Canadian and U.S. origin, reproduced at the I.V. Michurin Federal Science Center in Tambov Province, were studied for the content of the main BAC groups using modern methods (spectrophotometry, HPLC-UV, HPLC-RID, and HPLC-DAD-MS).

Results and discussion. The main BAC groups (the content and profile of anthocyanins, proanthocyanidins, flavonols and flavones, hydroxycinnamic acids (HCA), iridoids, and organic acids) as well as mono- and disaccharides were studied in detail. A comparative study of the biological value of domestic and foreign honeysuckle cultivars was carried out.

Conclusions. The study resulted in identifying the most promising cultivars of honeysuckle according to the content of the main BAC groups.

Keywords: honeysuckle, anthocyanins, proanthocyanidins, flavonoids, hydroxycinnamic acids, iridoids

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the state task in Part 5 “Development of methods for the isolation, identification and bioactivity evaluation of anthocyanins in domestic berry raw materials” of the complex scientific topic (No. 0410-2022-0003) “Development of a comprehensive system for assessing the safety of food ingredients, bioactive compounds and new types of food products obtained from nontraditional and new sources”.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Perova I.B., Eller K.I., Gerasimov M.A., Baturina V.A., Akimov M.Yu., Akimova O.M., Mironov A.M., Koltsov V.A. A study of a complex of bioactive compounds in the fruits of promising blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) cultivars. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):53-69. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-53-69

Введение

Жимолость голубая (*Lonicera caerulea* L.) является многолетним плодоносящим растением, принадлежащим к семейству Caprifoliaceae (Жимолостные). С 1960-х годов на территории России ведется активная работа по селекции жимолости. На протяжении многих лет жимолость рассматривалась в основном как культура для приусадебных участков (Zhidyokhina et al., 2016). В России выращиванием жимолости, как правило, занимаются мелкие хозяйства. Особенностью плодов жимолости является сравнительно короткий срок транспортировки ягод после уборки, в связи с чем производители сталкиваются с трудностями в реализации свежей ягоды (Zhidyokhina et al., 2016; Grobelna et al., 2019; Bryksin, 2019). Вместе с тем, несмотря на скоропортящийся характер ягод, благодаря специфическому вкусу, раннему созреванию, зимостойкости, небольшому количеству вредителей, а также естественной адаптации к северным климатическим условиям и пригодностью для механической уборки урожая выращивание жимолости в промышленных масштабах получило широкое распространение в России, Японии, Канаде, северных районах Китая и США (Caprioli et al., 2016). Основное мировое производство жимолости голубой сосредоточено на территории Польши и Канады (Caprioli et al., 2016). Основные отечественные центры промышленного культивирования жимолости находятся на территории южной Сибири и Урала.

Интерес к жимолости голубой обусловлен высоким уровнем накопления в плодах антоцианинов, проантоцианидинов, иридоидов и других биологически активных веществ (БАВ) (Caprioli et al., 2016; Kucharska et al., 2017; Perova et al., 2019; Molina et al., 2019; Gawroński et al., 2020; Česonienė et al., 2021; Orsavová et al., 2022). По количеству антоцианинов и проантоцианидинов плоды жимолости не уступают таким ценным дикорастущим плодам, как черника, голубика и вороника, превосходя их по экономичности, раннему созреванию, возможности

культивирования и механизированного сбора урожая в садовых хозяйствах. Для этих групп полифенольных соединений показан широкий спектр биологической активности: антиоксидантная, противовоспалительная, антимикробная, гиполипидемическая, гипогликемическая (Molina et al., 2019; Danielewski et al., 2020; Danielewski et al., 2021; Česonienė et al., 2021; Qi et al., 2022). В отличие от полифенольных соединений иридоиды редко встречаются в пищевых плодовых культурах. Жимолость голубая, наряду с кизилом обыкновенным, являются наиболее значимыми источниками иридоидных и секоиридоидных гликозидов в России, имеющими похожие профили (логаниновая кислота, логанин и сверозид) и содержащими приблизительно одинаковые количества иридоидов (78,0–406,4 мг/100 г) (Perova et al., 2014; Kucharska et al., 2017; Perova et al., 2019). В литературе сообщается о противовоспалительной, гепато- и нейропротекторной, антиноцицептивной, антимикробной активности иридоидов, содержащихся в жимолости и кизиле (Perova et al., 2014; Danielewski et al., 2020; Wang et al., 2020; Danielewski et al., 2021). Содержание нутриентов в плодах жимолости связано с ареалом произрастания, сортом и агротехническими приемами возделывания (Caprioli et al., 2016; Molina et al., 2019).

Целью работы является детальное качественное и количественное исследование основных биологически активных веществ в промышленных сортах генетической коллекции ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина» и ряде зарубежных сортов жимолости и поиск на этой основе наиболее перспективных сортов.

Материалы и методы

Растительный материал

Исследовано 20 сортов жимолости голубой (табл. 1), собранных в ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина» (Тамбовская область, Мичуринск) в 2021 г. Объекты хранились в замороженном виде при температуре –18°C непосредственно до приготовления экстрактов.

Таблица 1. Исследованные сорта жимолости голубой
Table 1. The studied blue honeysuckle cultivars

Наименование сорта	Происхождение сорта	Место селекции	Страна селекции
Авача	Неизвестно	Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова	Россия
Аврора	'Соловей' (<i>L. kamtschatika</i>) × МТ46.55	University of Saskatchewan	Канада
Бакчарский великан	Гибридный сеянец F ₃ , полученный из семьи 1-39-23 (<i>L. venulosa</i> subsp. <i>edulis</i>) × Роксана (<i>L. kamtschatika</i>)	ОГУП «Бакчарское»	Россия
Барышня	Сеянец от свободного опыления формы 4-83-2 (<i>L. kamtschatika</i>)	ФНЦ имени И.В. Мичурина	Россия
Блю Банана	Гибрид F4 <i>L. caerulea</i> subsp. <i>turczaninowii</i> Pojark (группа сортов Blue Moose селекции Lydia Stewart)	Berries Unlimited, Арканзас	США
Бореал Бист	Киев № 7 × Томичка	University of Saskatchewan	Канада
Бореал Близзард	Сеянец от свободного опыления сорта 'Соловей' (<i>L. kamtschatika</i>)	University of Saskatchewan	Канада

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

Наименование сорта	Происхождение сорта	Место селекции	Страна селекции
Бореал Бьюти	Гибрид японских и российских (континентальных и курильских) сортов	University of Saskatchewan	Канада
Волхова	Сеянец от свободного опыления сорта 'Павловская' (<i>L. kamtschatica</i>)	Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова	Россия
Индиго Гем	Киев № 8 × Томичка	University of Saskatchewan	Канада
Княгиня	Сеянец от свободного опыления сорта 'Богдана' (<i>L. kamtschatica</i>)	ФНЦ имени И.В. Мичурина	Россия
Маша	Васюганская (<i>L. venulosa</i>) × элитная форма <i>L. kamtschatica</i> 102	Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова	Россия
Морена	Скращивание элитных форм № 110 и № 21-5	Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова	Россия
Нимфа	Гамма-сеянец от свободного опыления сорта 'Ленинградский великан' (<i>L. kamtschatica</i>)	Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова	Россия
Огненный опал	От свободного опыления отборной формы жимолости второго поколения <i>L. altaica</i> Pall. из Казахстана	НИИ садоводства Сибири имени М.А. Лисавенко	Россия
Синий утес	Сеянец от свободного опыления 2-64-32	ОГУП «Бакчарское»	Россия
Славянка	Элитная формы № 21-5 (<i>L. kamtschatica</i>) из Приморской края × Ленинградский великан (<i>L. kamtschatica</i>)	Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова	Россия
Содружество	Камчадалка (<i>L. kamtschatica</i>) × элитная форма 1-39-29	Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова	Россия
Сувенир	Неизвестно	Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова	Россия
Темная ночь	Отборный сеянец 18-94 (<i>L. kamtschatica</i>)	ФНЦ имени И.В. Мичурина	Россия

Климат Мичуринского района Тамбовской области умеренно-континентальный. Почвы – выщелоченный чернозем. Сумма осадков, выпавших в первые три квартала 2021 г., значительно превышала многолетние среднегодовые показатели, в то время как сумма осадков, выпавших в марте 2021 г., была значительно меньше многолетних среднегодовых показателей. Температуры воздуха первого и второго кварталов 2021 г. отличались повышением среднемесячной температуры воздуха на 3,28°C и 2,25°C соответственно по сравнению с многолетними среднегодовыми показателями. Данные предоставлены сотрудниками Мичуринской М2 Тамбовского ЦГМС филиала ФГБУ «Центрально-Черноземного УГМС».

Пробоподготовка

Замороженные ягоды измельчали и гомогенизировали в ступке до получения ягодной пасты.

Определение профиля и суммы антоцианов

Навеску 2,5 г ягодной пасты помещали в центрифужную пробирку на 50 мл, добавляли 30 мл 70% этанола, подкисленного 1 мл 0,1М водного раствора соляной кис-

лоты, экстрагировали в ультразвуковой бане в течение 20 мин при комнатной температуре. Полученный экстракт центрифугировали при 4000 об/мин в течение 10 мин, супернатант переливали в мерную колбу на 100 мл. Процедуру повторяли три раза. Объединенный экстракт доводили до метки подкисленным 70% этанолом, перемешивали. Аликвоту 2 мл центрифугировали при 15 000 об/мин в течение 10 мин. Надосадочную жидкость анализировали.

Определение проантоцианидинов, флавоноидов, гидроксикоричных кислот (ГКК), иридоидов

5 г годной пасты переносили в грушевидную колбу на 100 мл, добавляли 35 мл 60% метанола, выдерживали на кипящей водяной бане с обратным холодильником в течение 1 часа. После охлаждения до комнатной температуры экстракт переносили в мерную колбу на 50 мл, доводили до метки 60% метанолом. Аликвоту 2 мл центрифугировали при 15 000 об/мин в течение 10 мин, 1 мл надосадочной жидкости переносили в вialу для автосамплера.

Определение органических, аскорбиновой кислот и сахаров

Навеску 5,0 г ягодной пасты помещали в центрифужную пробирку на 50 мл, добавляли 25 мл воды и экстрагировали в ультразвуковой бане в течение 30 мин при комнатной температуре. Затем экстракт центрифугировали в течение 10 мин при 4000 об/мин, надосадочную жидкость переносили в мерную колбу на 25 мл, доводили до метки водой, перемешивали. 1,5 мл полученного экстракта центрифугировали в течение 10 мин при 15 000 об/мин. Супернатант использовался непосредственно для анализа.

Оборудование и реактивы

Исследования проводились с помощью спектрофотометра Shimadzu UV-1800 (Shimadzu Corporation, Япония) с диапазоном длин волн 190–1100 нм, жидкостного хроматографа Agilent 1100 (Agilent Technologies, США) с диодно-матричным спектрофотометрическим детектором (ДМД), жидкостного хроматографа Ultimate 3000 с ДМД и тройным квадрупольным масс-спектрометрическим детектором (МСД) TSQ Endura. В качестве стандартных образцов были использованы коммерчески доступные чистые вещества: процианидин

B2 ($\geq 90\%$, INDOFINE Chemical Company), рутин тригидрат ($\geq 95\%$, Roth), гиперозид ($\geq 95\%$, HWI ANALYTIK GMBH), изокверцитрин ($\geq 94\%$, HWI ANALYTIK GMBH), лютеолин-7-глюкозид ($\geq 98\%$, Extrasynthese), кемпферол-3-глюкозид ($\geq 95\%$, PhytoLab), логанин ($\geq 97,0\%$, Sigma), неохлорогеновая кислота ($\geq 98\%$, Sigma), хлорогеновая кислота ($\geq 95\%$, Sigma), лимонная кислота ($\geq 99,5\%$, Sigma), яблочная кислота ($\geq 99,5\%$, Fluka), аскорбиновая кислота ($\geq 99\%$, Fluka), фруктоза ($\geq 99\%$, Sigma), глюкоза ($\geq 99,5\%$, Sigma), сорбит ($\geq 98\%$, Sigma).

Методики определения

Содержание мономерных антоцианинов в пересчете на цианидин-3-глюкозид определяли методом pH-дифференциальной спектрофотометрии (GOST 32709-2014..., 2014), содержание проантоцианидинов в пересчете на процианидин B2 – модифицированным методом Бейта-Смита (Tutelyan, Eller, 2010), профиль органических кислот и профиль сахаров и сахароспиртов – методом обращенно-фазовой ВЭЖХ (GOST 32771-2014..., 2014; GOST 31669-2012..., 2019). Исследование профилей антоцианинов, флавоноидов, ГKK, иридоидов проводили с помощью оригинальных разработанных ВЭЖХ-ДМД-МСД методик (табл. 2).

Таблица 2. Условия определения профилей антоцианинов, флавоноидов, ГKK и иридоидов методом ВЭЖХ-ДМД-МСД

Table 2. HPLC-DAD-MSD conditions for determining profiles of anthocyanins, flavonoids, HCA and iridoids

Определяемый показатель	Профиль антоцианинов	Профиль флавоноидов	Профиль ГKK	Профиль иридоидов
Условия ВЭЖХ-ДМД:				
колонка	Phenomenex Luna C18(2) 250×4,6 мм с размером частиц 5 мкм			
подвижная фаза А	1% муравьиной кислоты в воде	0,1% раствор муравьиной кислоты в воде		
подвижная фаза В	1% муравьиной кислоты в ацетонитриле	0,1% муравьиной кислоты в ацетонитриле		метанол
градиентное элюирование	0 мин – 10% В 10 мин – 12% В 20 мин – 15% В 30–32 мин – 30% В 33–45 мин – 10% В	0 мин – 15% В 35–40 мин – 60% В 41–50 мин – 15% В	0 мин – 10% В 18 мин – 25% В 30 мин – 40% В 35 мин – 60% В 36–45 мин – 10% В	0 мин – 10% В 30–32 мин – 70% В 33–40 мин – 10% В
скорость подачи подвижной фазы	0,5 мл/мин			
температура колонки	40°C	30°C		
объем введенной пробы	10 мкл	5 мкл		
длины волн ДМД	520 нм	370 и 350 нм	330 нм	235 нм
Условия масс-спектрометрического детектирования (МСД):				
источник ионизации	Прогреваемый электроспрей (HESI)			
режим регистрации ионов	Положительный (HESI/MS ⁺)		Отрицательный (HESI/MS ⁻)	Положительный (HESI/MS ⁺)
напряжение	3500 В		2500 В	3500 В
температура испарителя	350°C	325°C	275°C	300°C
температура трубки переноса электронов	325°C	300°C	275°C	300°C

Результаты и обсуждение

Антоцианины

Результаты определения суммарного количества мономерных антоцианинов приведены в таблице 3. Сумма антоцианинов варьировала в диапазоне от 201,2 мг/100 г в сорте 'Бореал Бист' до 553,9 мг/100 г в сорте 'Темная ночь' (см. табл. 3), при этом в 14 из 20 сортов оно превышало 300 мг/100 г. Среднее содержание антоцианинов составило 381,1 мг/100 г. К наиболее перспективным по содержанию антоцианинов относятся сорта 'Темная ночь', 'Волхова', 'Аврора', 'Синий утес', 'Нимфа', 'Индиго Гем', 'Бакчарский великан' и 'Славянка'. Результаты сопоставимы с литературными данными по выращенным в Польше, Чехии и Литве сортам жимолости российского, польского, чешского, канадского и словацкого происхождения, в которых было найдено от 150,3 до 655,2 мг/100 г антоцианинов (Kucharska et al., 2017; Molina et al., 2019; Česonienė et al., 2021; Orsavová et al., 2022).

Профиль антоцианинов в исследованных образцах (табл. 4) идентичен профилю антоцианинов ранее исследованных образцов жимолости (Perova et al., 2019). Цианидин-3-глюкозид составлял от 82,1% до 89,2% общего количества антоцианинов. Минорные цианидин-3-рутинозид, цианидин-3,5-диглюкозид и пеонидин-3-глюкозид присутствовали на уровне 2,4–7,2%, 1,5–7,1% и 2,1–6,7% соответственно. Содержание пеларгонидин-3-глюкозида, 3-рутинозида и 3,5-диглюкозида пеонидина – от 0,2% до 2,2% от суммы антоцианинов.

Проантоцианидины

В исследованных сортах жимолости обнаружено от 483,2 мг/100 г до 1576,9 мг/100 г проантоцианидинов (см. табл. 3). Среднее содержание проантоцианидинов составило 970,1 мг/100 г. Наибольшими количествами проантоцианидинов отличались сорта 'Содружество', 'Темная ночь', 'Аврора', 'Бакчарский великан', 'Синий утес', 'Волхова', 'Нимфа' и 'Индиго Гем', наименьшими – сорта 'Морена', 'Княгиня' и 'Барышня'.

Таблица 3. Содержание антоцианинов и проантоцианидинов в жимолости**Table 3. The content of anthocyanins and proanthocyanidins in honeysuckle**

Сорт жимолости	Содержание, мг/100 г сырого веса, М ± m, n = 3	
	Сумма антоцианинов	Сумма проантоцианидинов
Авача	271,3 ± 8,0	678,7 ± 28,5
Аврора	508,6 ± 14,4	1416,2 ± 42,1
Бакчарский великан	485,4 ± 15,3	1355,9 ± 34,9
Барышня	260,7 ± 9,3	595,4 ± 21,7
Блю Банана	323,4 ± 10,4	938,9 ± 35,7
Бореал Бист	201,2 ± 7,8	774,1 ± 27,2
Бореал Близзард	420,7 ± 11,6	766,9 ± 25,0
Бореал Бьюти	240,3 ± 7,2	757,8 ± 22,2
Волхова	529,5 ± 13,8	1295,5 ± 50,7
Индиго Гем	493,4 ± 12,5	1121,7 ± 48,5
Княгиня	321,6 ± 10,1	547,8 ± 25,3
Маша	301,2 ± 8,5	618,7 ± 30,3
Морена	242,3 ± 9,2	483,8 ± 20,4
Нимфа	503,1 ± 11,3	1142,3 ± 49,9
Огненный опал	263,4 ± 9,5	844,3 ± 29,1
Синий утес	505,8 ± 12,0	1319,3 ± 42,4
Славянка	478,1 ± 13,1	769,8 ± 33,9
Содружество	389,9 ± 9,2	1576,9 ± 50,4
Сувенир	327,8 ± 9,5	873,5 ± 31,1
Темная ночь	553,9 ± 12,7	1524,6 ± 46,7

Таблица 4. Профиль антоцианинов жимолости
Table 4. The profile of anthocyanins in honeysuckle

Сорт жимолости	Содержание, % от суммы антоцианинов, М ± m (n = 3)						
	Cyd-3,5-diglu*	Pnd-3,5-diglu*	Cyd-3-glu*	Cyd-3-rut*	Pgd-3-glu*	Pnd-3-glu*	Pnd-3-rut*
Авача	7,1 ± 0,3	0,9 ± 0,1	85,0 ± 0,5	2,4 ± 0,1	0,6 ± 0,02	3,7 ± 0,2	0,3 ± 0,02
Аврора	3,0 ± 0,2	0,5 ± 0,1	89,2 ± 0,4	2,7 ± 0,2	0,5 ± 0,02	3,6 ± 0,2	0,5 ± 0,02
Бакчарский великан	3,4 ± 0,2	0,5 ± 0,1	88,0 ± 0,6	4,7 ± 0,2	0,6 ± 0,03	2,5 ± 0,1	0,3 ± 0,02
Барышня	3,2 ± 0,2	0,8 ± 0,1	84,9 ± 0,6	5,3 ± 0,3	0,4 ± 0,02	4,7 ± 0,2	0,7 ± 0,02
Блю Банана	1,8 ± 0,1	0,3 ± 0,04	87,6 ± 0,4	4,4 ± 0,2	0,8 ± 0,1	4,5 ± 0,3	0,6 ± 0,03
Бореал Бист	4,1 ± 0,2	следы (<0,1)	86,2 ± 0,7	6,0 ± 0,3	0,9 ± 0,1	2,4 ± 0,2	0,4 ± 0,02
Бореал Близзард	5,4 ± 0,3	1,0 ± 0,1	84,1 ± 0,5	4,2 ± 0,2	0,7 ± 0,04	4,1 ± 0,2	0,5 ± 0,01
Бореал Бьюти	3,3 ± 0,2	0,7 ± 0,1	83,3 ± 0,5	6,8 ± 0,3	0,7 ± 0,03	4,3 ± 0,3	0,8 ± 0,03
Волхова	3,2 ± 0,1	0,6 ± 0,05	83,6 ± 0,6	7,2 ± 0,3	0,5 ± 0,02	4,0 ± 0,2	0,9 ± 0,03
Индиго Гем	4,4 ± 0,3	0,5 ± 0,03	86,7 ± 0,4	4,1 ± 0,1	1,0 ± 0,1	2,9 ± 0,1	0,4 ± 0,02
Княгиня	3,3 ± 0,1	1,2 ± 0,1	82,1 ± 0,5	5,4 ± 0,2	0,2 ± 0,03	6,7 ± 0,2	1,1 ± 0,1
Маша	3,7 ± 0,2	0,6 ± 0,04	88,2 ± 0,4	3,2 ± 0,2	0,2 ± 0,02	3,7 ± 0,2	0,4 ± 0,02
Морена	1,7 ± 0,1	0,4 ± 0,02	86,5 ± 0,6	5,7 ± 0,2	0,7 ± 0,04	4,3 ± 0,3	0,7 ± 0,03
Нимфа	1,5 ± 0,1	следы (<0,1)	89,4 ± 0,5	4,0 ± 0,2	1,6 ± 0,1	3,0 ± 0,2	0,5 ± 0,02
Огненный опал	6,0 ± 0,3	0,5 ± 0,03	85,9 ± 0,4	3,7 ± 0,2	1,4 ± 0,1	2,1 ± 0,1	0,3 ± 0,02
Синий утес	2,3 ± 0,2	0,4 ± 0,02	86,9 ± 0,6	3,1 ± 0,1	2,2 ± 0,2	4,5 ± 0,2	0,5 ± 0,02
Славянка	3,4 ± 0,1	0,7 ± 0,04	85,3 ± 0,5	5,2 ± 0,2	0,4 ± 0,02	4,3 ± 0,2	0,6 ± 0,03
Содружество	4,1 ± 0,2	0,7 ± 0,05	87,8 ± 0,6	2,5 ± 0,2	0,5 ± 0,03	3,9 ± 0,2	0,5 ± 0,02
Сувенир	5,4 ± 0,3	0,6 ± 0,03	87,4 ± 0,5	2,4 ± 0,1	1,0 ± 0,1	2,9 ± 0,1	0,3 ± 0,01
Темная ночь	2,0 ± 0,1	0,5 ± 0,03	83,9 ± 0,3	6,6 ± 0,3	0,4 ± 0,02	5,5 ± 0,3	1,1 ± 0,1

Примечание: Cyd-3,5-diglu* – цианидин-3,5-диглюкозид; Pnd-3,5*-diglu – пеонидин-3,5-диглюкозид;
Cyd-3-glu* – цианидин-3-глюкозид; Cyd-3-rut* – цианидин-3-рутинозид; Pgd-3-glu* – пеларгонидин-3-глюкозид;
Pnd-3-glu* – пеонидин-3-глюкозид; Pnd-3-rut* – пеонидин-3-рутинозид
Note: Cyd-3,5-diglu* – cyanidin-3,5-diglucoside; Pnd-3,5*-diglu – peonidin-3,5-diglucoside; Cyd-3-glu* – cyanidin-3-glucoside;
Cyd-3-rut* – cyanidin-3-rutinoside; Pgd-3-glu* – pelargonidin-3-glucoside; Pnd-3-glu* – peonidin-3-glucoside;
Pnd-3-rut* – peonidin-3-rutinoside

Флавонолы и флавоны

Длины волн максимумов поглощения (λ_{max}), времена удерживания (R_t), детектируемые массы флавоноидов и соответствующие им ионы представлены в таблице 5. Профиль флавоноидов исследованных в данной работе сортов жимолости несколько отличался от ранее изучен-

ных нами образцов (Perova et al., 2019). Идентифицированы два новых флавоноида – тригликозид рутина-рамнозид и 7-рутинозид лютеолина. В то же время ни в одном из 20 сортов не был обнаружен авикулярин. Во всех сортах, за исключением сорта 'Нимфа', основным флавоноидом был рутин, содержание которого составило 2,3–

Таблица 5. Идентификация флавоноидов жимолости с помощью ВЭЖХ-ДМД-МС

Table 5. Identification of flavonoids in honeysuckle by HPLC-DAD-MS

Флавоноид	$\lambda_{\max}$, нм	Rt, мин	HESI/MS ⁺	Детектируемый ион
Рутин рамнозид	256 266 350	12,7	757.30 611.15 465.08 303.24	[M + H] ⁺ [M – рамноза*] ⁺ [M – 2 рамнозы] ⁺ [M – рамноза – рутиноза] ⁺
Мирицетин-3- глюкозид	256 268 360	13,6	481,15 319,14	[M + H] ⁺ [M – глюкоза] ⁺
Кверцетин-3- вицианозид	256 266 354	14,2	597,24 465,15 303,03	[M + H] ⁺ [M – арабиноза] ⁺ [M – вицианоза] ⁺
Лютеолин-7- рутинозид	255 267 347	15,2	595.24 449.13 287.09	[M + H] ⁺ [M – рамноза] ⁺ [M – рутиноза] ⁺
Рутин	256 266 354	15,3	611,20 465,15 303,10	[M + H] ⁺ [M – рамноза] ⁺ [M – рутиноза] ⁺
Изорамнетин-3- вицианозид	256 268 354	16,1	611,35 479,50 317,09	[M + H] ⁺ [M – арабиноза] ⁺ [M – вицианоза] ⁺
Лютеолин-7- глюкозид (цинарозид)	255 267 348	16,6	449,17 287,05	[M + H] ⁺ [M – глюкоза] ⁺
Изокверцитрин	256 266 354	16,7	465,14 303,06	[M + H] ⁺ [M – глюкоза] ⁺
Кемпферол-3- рутинозид (никотифлорин)	266 348	17,0	595,25 449,23 287,14	[M + H] ⁺ [M – рамноза] ⁺ [M – рутиноза] ⁺
Изорамнетин-3- рутинозид (нарциссин)	256 268 354	17,2	625,22 449,23 317,18	[M + H] ⁺ [M – рамноза] ⁺ [M – рутиноза] ⁺

Примечание: * Здесь и далее: остаток дегидратированного сахара (молекула воды высвобождается при образовании гликозидной связи)

Note: * Here and afterwards: dehydrated sugar moiety (a water molecule is released during formation of a glycosidic bond)

25,8 мг/100 г (табл. 6). Преобладание рутина среди флавонол- и флавоногликозидов отмечено в большинстве сортов жимолости российского, словацкого, польского, американского, чешского и швейцарского происхождения, выращенных в Польше и Чехии (Kucharska et al., 2017; Orsavová et al., 2022). В сорте 'Нимфа' основным флавоноидом являлся кверцетин-3-вицианозид (3,9 мг/100 г), а количество рутина было приблизительно в 1,5 раза меньше (2,5 мг/100 г). Преобладание кверцетин-3-вицианозида над рутином наблюдалось в ряде российских ('Бакчарская юбилейная', 'Камчадалка', 'Крупноплодная', 'Роксана') и польских ('Клон 44') сортов жимолости, репродуцированных в Польше (Kuchar-

ska et al., 2017). Вероятно, профиль флавоноидов в большей степени связан с сортовыми особенностями, чем с регионом культивирования. Общее содержание флавоноидов варьировало в достаточно широком диапазоне – от 6,6 мг/100 г в сортах 'Бореал Бьюти' и 'Морена' до 41,6 мг/100 г в сорте 'Барышня'. Полученные данные сопоставимы с результатами зарубежных исследований, где флавонол- и флавоногликозиды были найдены в количестве 3,0–35,8 мг/100 г (Kucharska et al., 2017; Orsavová et al., 2022). Среднее содержание флавоноидов составило 18,5 мг/100 г. Наибольшее количество флавоноидов найдено в сортах 'Барышня', 'Волхова', 'Огненный опал' и 'Индиго Гем'.

Таблица 6. Профиль флавоноидов жимолости
Table 6. The profile of flavonoids in honeysuckle

Сорт жимолости	Содержание, мг/100 г сырого веса, М±m (n = 3)										
	Рутин рамнозид	Мирицетин-3- глюкозид	Кверцетин-3- ацетат	Лютеолин-7- рутинозид	Рутин	Изоамирин-3- ацетат	Цинарозид	Изоамирин	Никотинолорин	Нарциссин	Сумма флавоноидов
Авача	н/о*	0,2 ± 0,01	2,3 ± 0,2	следы**	3,6 ± 0,1	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,01	1,7 ± 0,2	н/о	0,1 ± 0,01	8,2 ± 0,2
Аврора	0,3 ± 0,01	0,8 ± 0,02	1,9 ± 0,2	0,3 ± 0,01	5,2 ± 0,2	н/о	0,5 ± 0,01	2,9 ± 0,2	н/о	н/о	11,9 ± 0,3
Бакчарский великан	н/о	0,4 ± 0,01	0,7 ± 0,02	1,1 ± 0,1	7,3 ± 0,2	следы	0,5 ± 0,02	0,8 ± 0,03	0,2 ± 0,02	0,5 ± 0,02	11,5 ± 0,2
Барышня	3,5 ± 0,2	1,3 ± 0,1	2,7 ± 0,2	2,8 ± 0,2	25,8 ± 0,5	0,3 ± 0,02	0,3 ± 0,01	1,9 ± 0,2	0,2 ± 0,01	2,8 ± 0,2	41,6 ± 0,7
Блю Банана	н/о	0,7 ± 0,03	4,5 ± 0,3	н/о	4,4 ± 0,1	0,3 ± 0,01	0,1 ± 0,01	1,6 ± 0,1	н/о	0,2 ± 0,01	11,8 ± 0,2
Бореал Бист	2,0 ± 0,1	0,4 ± 0,01	1,0 ± 0,1	0,2 ± 0,01	15,1 ± 0,4	следы	0,6 ± 0,02	0,8 ± 0,02	0,4 ± 0,02	1,1 ± 0,1	21,6 ± 0,4
Бореал Ближзвезд	0,3 ± 0,02	0,4 ± 0,02	1,1 ± 0,1	следы	6,9 ± 0,2	следы	0,2 ± 0,01	0,9 ± 0,03	0,2 ± 0,01	0,5 ± 0,03	10,5 ± 0,2
Бореал Бьюти	0,2 ± 0,01	0,3 ± 0,02	2,5 ± 0,2	0,2 ± 0,02	2,3 ± 0,1	0,1 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,8 ± 0,02	следы	н/о	6,6 ± 0,2
Волхова	0,6 ± 0,02	1,6 ± 0,2	8,2 ± 0,3	0,2 ± 0,01	22,1 ± 0,4	0,4 ± 0,02	0,3 ± 0,02	2,9 ± 0,2	0,2 ± 0,02	1,5 ± 0,1	38,0 ± 0,6
Индиго Тем	н/о	1,0 ± 0,1	0,8 ± 0,02	3,0 ± 0,2	23,3 ± 0,5	н/о	0,5 ± 0,01	2,8 ± 0,2	0,5 ± 0,02	0,4 ± 0,02	32,3 ± 0,5
Княгиня	1,0 ± 0,1	0,7 ± 0,02	1,3 ± 0,1	0,8 ± 0,03	10,8 ± 0,2	0,1 ± 0,02	0,3 ± 0,01	0,8 ± 0,03	н/о	0,9 ± 0,02	16,7 ± 0,3
Маша	1,4 ± 0,1	0,4 ± 0,02	2,6 ± 0,2	следы	6,7 ± 0,2	следы	0,1 ± 0,02	0,9 ± 0,02	н/о	0,4 ± 0,02	12,5 ± 0,2
Морена	н/о	0,2 ± 0,01	0,5 ± 0,02	следы	4,6 ± 0,1	следы	0,1 ± 0,01	0,5 ± 0,02	н/о	0,7 ± 0,02	6,6 ± 0,2
Нимфа	0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,01	3,9 ± 0,3	н/о	2,5 ± 0,1	0,2 ± 0,01	следы	1,6 ± 0,1	0,2 ± 0,01	0,1 ± 0,01	9,1 ± 0,3
Огненный опал	н/о	1,2 ± 0,1	10,3 ± 0,2	0,2 ± 0,02	15,5 ± 0,3	н/о	0,7 ± 0,02	6,3 ± 0,2	0,8 ± 0,02	0,2 ± 0,02	35,2 ± 0,5
Синий утес	0,5 ± 0,01	1,6 ± 0,1	4,1 ± 0,1	0,2 ± 0,01	16,0 ± 0,3	следы	0,2 ± 0,01	2,5 ± 0,1	0,8 ± 0,03	0,6 ± 0,02	26,5 ± 0,4
Славянка	н/о	0,8 ± 0,03	1,3 ± 0,1	3,1 ± 0,3	15,0 ± 0,2	следы	0,6 ± 0,02	1,2 ± 0,1	0,4 ± 0,01	0,6 ± 0,02	23,0 ± 0,4
Содружество	следы	0,7 ± 0,02	3,8 ± 0,2	0,7 ± 0,02	8,9 ± 0,1	0,2 ± 0,01	1,1 ± 0,1	1,9 ± 0,1	0,1 ± 0,01	0,7 ± 0,02	18,1 ± 0,3
Сувенир	следы	0,3 ± 0,01	3,6 ± 0,3	следы	4,3 ± 0,1	0,3 ± 0,02	0,1 ± 0,01	1,7 ± 0,1	0,1 ± 0,02	0,2 ± 0,01	10,6 ± 0,2
Темная ночь	н/о	0,8 ± 0,02	2,6 ± 0,2	0,2 ± 0,01	11,5 ± 0,2	н/о	0,3 ± 0,02	1,1 ± 0,1	0,1 ± 0,01	0,4 ± 0,01	17,0 ± 0,3

Примечание: * Здесь и далее: <0,1 мг/кг; ** Здесь и далее: <1 мг/кг
Note: * Here and afterwards: <0.1 mg/kg; ** Here and afterwards: <1 mg/kg

ГКК

Профиль ГКК жимолости представлен кофеилхин-ными кислотами, преимущественно хлорогеновой кислотой (табл. 7). Также идентифицирована дикофеилхинная кислота. Общее содержание ГКК варьировало от 18,0 мг/100 г ('Маша') до 63,1 мг/100 г ('Темная ночь') при среднем значении 32,4 мг/100 г. Наибольшее количество ГКК найдены в сортах 'Темная ночь', 'Содружество', 'Волхова', 'Бакчарский великан', 'Нимфа' и 'Аврора'. Хлорогеновая кислота составляла от 50,2% ('Огненный опал') до 81,6% ('Темная ночь') от суммы ГКК. В существенно меньших количествах в жимолости были найдены неохлорогеновая (0,9–8,6 мг/100 г) и дикофеилхинная (3,8–7,6 мг/100 г) кислоты. В целом количество ГКК в исследованных сортах жимолости сопоставимы с изученными нами ранее сортами (16,3–79,8 мг/100 г) и литературными данными (27,1–115,5 мг/100 г) (Kucharska et al., 2017; Perova et al., 2019; Molina et al., 2019; Orsavová et al., 2022).

Иридоиды

Состав иридоидов в изученных сортах жимолости оказался более сложным по сравнению с ранее изученными образцами (Perova et al., 2019). Времена удерживания, максимумы поглощения и детектируемые массы иридоидов приведены в таблице 8. Обнаружено 17 иридоидных и секоиридоидных гликозидов, идентификация которых осуществлялась на основе данных ВЭЖХ-ДМД-МСД и литературных данных (Kucharska et al., 2017). Логанин был представлен в виде четырех изомеров (№ 3, № 8, № 12 и № 15), логаниновая кислота и ее пентозид – в виде трех изомеров, пентозид логанина и секологанин – в виде двух изомеров. Поскольку изомеры иридоидов № 1, № 3, № 5–9 присутствовали с сырьем в незначительных или следовых количествах, либо были найдены в единичных сортах, то они не были включены в общую таблицу 9, но их содержание было учтено при расчете суммарного содержания иридоидов.

Таблица 7. Профиль ГКК в жимолости
Table 7. The profile of HCA in honeysuckle

Наименование сорта	Содержание, мг/100 г сырого веса, $M \pm m$ (n = 3)			
	Неохлорогеновая кислота	Хлорогеновая кислота	Дикофеилхинная кислота	Сумма ГКК
Авача	2,9 ± 0,1	16,5 ± 0,2	3,8 ± 0,1	23,2 ± 0,2
Аврора	4,5 ± 0,1	31,6 ± 0,3	5,1 ± 0,1	41,2 ± 0,4
Бакчарский великан	1,7 ± 0,05	36,5 ± 0,4	7,5 ± 0,2	45,7 ± 0,5
Барышня	1,0 ± 0,03	18,4 ± 0,2	4,9 ± 0,1	24,3 ± 0,3
Блю Банана	1,7 ± 0,1	16,7 ± 0,2	4,9 ± 0,2	23,3 ± 0,3
Бореал Бист	0,9 ± 0,03	11,9 ± 0,1	7,6 ± 0,2	20,4 ± 0,2
Бореал Близзард	7,2 ± 0,2	19,8 ± 0,2	4,6 ± 0,1	31,6 ± 0,4
Бореал Бьюти	2,5 ± 0,05	14,7 ± 0,2	5,5 ± 0,1	22,7 ± 0,2
Волхова	8,6 ± 0,2	33,9 ± 0,3	6,2 ± 0,2	48,7 ± 0,4
Индиго Гем	4,6 ± 0,1	10,9 ± 0,1	3,8 ± 0,05	19,3 ± 0,2
Княгиня	1,1 ± 0,03	26,1 ± 0,3	5,5 ± 0,1	32,7 ± 0,3
Маша	1,0 ± 0,05	12,8 ± 0,1	4,2 ± 0,05	18,0 ± 0,2
Морена	6,3 ± 0,1	19,3 ± 0,2	4,4 ± 0,1	30,0 ± 0,3
Нимфа	7,2 ± 0,2	30,7 ± 0,2	7,6 ± 0,2	45,5 ± 0,4
Огненный опал	6,6 ± 0,2	11,4 ± 0,2	4,7 ± 0,2	22,7 ± 0,3
Синий утес	3,6 ± 0,1	18,0 ± 0,3	4,2 ± 0,1	25,8 ± 0,3
Славянка	4,0 ± 0,1	15,9 ± 0,2	4,5 ± 0,1	24,4 ± 0,2
Содружество	6,7 ± 0,2	44,1 ± 0,4	5,8 ± 0,2	56,6 ± 0,5
Сувенир	3,5 ± 0,1	21,8 ± 0,2	4,3 ± 0,1	29,6 ± 0,3
Темная ночь	6,0 ± 0,2	51,5 ± 0,3	5,6 ± 0,2	63,1 ± 0,4

Таблица 8. Идентификация иридоидов жимолости с помощью ВЭЖХ-ДМД-МС

Table 8. Identification of iridoids in honeysuckle by HPLC-DAD-MS

Иридоид	$\lambda_{\max}$, нм	Rt, мин	HESI/MS ⁺	Детектируемый ион
8-эпи-логаниновая кислота	–	16,8	399,24 215,15	[M + Na] ⁺ [M – glu + H] ⁺
Логаниновая кислота	235	19,2	775,26 399,18 215,13 197,13 179,13	[2M + Na] ⁺ [M + Na] ⁺ [M – glu + H] ⁺ [M – glu – H ₂ O + H] ⁺ [M – glu – 2H ₂ O + H] ⁺
Изомер логанина	235	19,6	413,21 211,15	[M + Na] ⁺ [M – glu – H ₂ O + H] ⁺
Пентозид логаниновой кислоты	230	20,0	531,24 377,18 215,13 197,14 179,14	[M + Na] ⁺ [M – пентоза + H] ⁺ [M – пентоза – glu + H] ⁺ [M – пентоза – glu – H ₂ O + H] ⁺ [M – пентоза – glu – 2H ₂ O + H] ⁺
7-эпи-логаниновая кислота	235	20,7	399,20 215,18 197,17 179,18	[M + Na] ⁺ [M – glu + H] ⁺ [M – glu – H ₂ O + H] ⁺ [M – glu – 2H ₂ O + H] ⁺
7-О-пентозид логаниновой кислоты	–	21,4	531,25 377,29 215,17 197,19 179,07	[M + Na] ⁺ [M – пентоза + H] ⁺ [M – пентоза – glu + H] ⁺ [M – пентоза – glu – H ₂ O + H] ⁺ [M – пентоза – glu – 2H ₂ O + H] ⁺
7-О-пентозид 7-эпи-логаниновой кислоты	235	21,7	531,24 377,27 215,16 197,13 179,11	[M + Na] ⁺ [M – пентоза + H] ⁺ [M – пентоза – glu + H] ⁺ [M – пентоза – glu – H ₂ O + H] ⁺ [M – пентоза – glu – 2H ₂ O + H] ⁺
8-эпи-логанин	–	21,9	413,17 229,19	[M + Na] ⁺ [M – glu + H] ⁺
Изомер секологанина	235	22,9	411,20 227,14 209,12	[M + Na] ⁺ [M – glu + H] ⁺ [M – glu – H ₂ O + H] ⁺
Сверозид	244	23,4	381,17 197,11 127,15	[M + Na] ⁺ [M – glu + H] ⁺ [M – glu – C ₄ H ₆ O + H] ⁺
Пентозид логанина	235	23,7	545,26 391,25 229,14	[M + Na] ⁺ [M – пентоза + H] ⁺ [M – пентоза – glu + H] ⁺
Логанин	235	23,8	413,21 229,15 211,14	[M + Na] ⁺ [M – glu + H] ⁺ [M – glu – H ₂ O + H] ⁺
Логанин-7-О-пентозид	–	24,0	545,27 391,25 229,14	[M + Na] ⁺ [M – пентоза + H] ⁺ [M – пентоза – glu + H] ⁺
Секологанин	235	24,6	411,18 227,12	[M + Na] ⁺ [M – glu + H] ⁺
7-эпи-логанин	–	25,6	413,21 229,16 211,18	[M + Na] ⁺ [M – glu + H] ⁺ [M – glu – H ₂ O + H] ⁺
Изомер секологанина	–	26,0	411,21 227,15	[M + Na] ⁺ [M – glu + H] ⁺
Секоксилоганин	–	26,2	427,22 243,19 225,10	[M + Na] ⁺ [M – glu + H] ⁺ [M – glu – H ₂ O + H] ⁺

Таблица 9. Профиль основных иридоидов жимолости
Table 9. The profile of basic iridoids in honeysuckle

Наименование сорта	Содержание, мг/100 г сырого веса, М±m (n=3)											
	Логаниновая кислота	Пентозид логаниновой кислоты	7-эпи-логаниновой кислоты	Сверозид	Пентозид логанина	Логанин	Логанин-7-О-пентозид	Секологанин	7-эпи-логанин	Измер секологанина	Секологанин	Сумма иридоидов
Авача	74,7 ± 0,5	7,4 ± 0,2	4,2 ± 0,1	3,7 ± 0,1	35,5 ± 0,4	7,3 ± 0,1	0,7 ± 0,02	0,4 ± 0,01	0,8 ± 0,02	0,3 ± 0,01	следы	135,5 ± 1,5
Аврора	10,2 ± 0,1	3,5 ± 0,1	6,9 ± 0,2	3,2 ± 0,1	14,6 ± 0,2	4,6 ± 0,1	1,1 ± 0,03	0,4 ± 0,01	1,4 ± 0,05	0,3 ± 0,02	н/о	46,5 ± 0,6
Бакчарский великан	52,6 ± 0,5	0,9 ± 0,1	6,1 ± 0,1	2,5 ± 0,1	86,7 ± 0,6	48,7 ± 0,3	0,7 ± 0,03	0,7 ± 0,02	1,6 ± 0,1	0,5 ± 0,02	0,4±0,01	202,2 ± 1,9
Барышня	40,9 ± 0,3	37,3 ± 0,2	5,2 ± 0,1	6,3 ± 0,2	63,0 ± 0,4	3,3 ± 0,1	1,8 ± 0,1	0,6 ± 0,02	0,8 ± 0,02	0,5 ± 0,01	следы	160,8 ± 0,8
Блю Банана	24,2 ± 0,2	19,0 ± 0,2	2,8 ± 0,1	1,2 ± 0,02	22,0 ± 0,2	2,5 ± 0,1	0,3 ± 0,02	0,3 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,01	следы	72,9 ± 0,5
Бореал Бист	26,4 ± 0,2	8,2 ± 0,1	7,8 ± 0,3	3,4 ± 0,1	50,6 ± 0,3	5,6 ± 0,1	1,7 ± 0,1	0,7 ± 0,02	1,6 ± 0,06	0,7 ± 0,03	0,2 ± 0,01	107,3 ± 0,7
Бореал Близзард	156,5 ± 1,8	н/о	7,4 ± 0,2	7,4±0,2	0,2 ± 0,01	19,5 ± 0,2	следы	0,6 ± 0,02	2,1 ± 0,1	0,5 ± 0,02	0,9 ± 0,03	197,2 ± 1,3
Бореал Бьюти	66,1 ± 0,6	78,1 ± 0,4	4,5 ± 0,1	6,9 ± 0,1	45,8 ± 0,3	7,3 ± 0,2	5,0 ± 0,2	1,0 ± 0,03	1,9 ± 0,1	0,9 ± 0,02	1,4 ± 0,03	220,4 ± 1,6
Волхова	155,3 ± 2,0	30,5 ± 0,2	9,7 ± 0,2	10,3 ± 0,2	85,5 ± 0,4	10,6 ± 0,2	2,6 ± 0,1	0,6 ± 0,01	2,1 ± 0,1	0,7 ± 0,02	0,4 ± 0,01	309,4 ± 2,2
Индиго Гем	188,7 ± 2,2	н/о	11,7 ± 0,2	10,9 ± 0,2	следы	72,1 ± 0,6	следы	1,8 ± 0,1	4,9 ± 0,2	1,6 ± 0,04	1,7 ± 0,05	295,6 ± 2,1
Княгиня	39,8 ± 1,1	54,6 ± 0,3	4,7 ± 0,1	5,9 ± 0,1	79,0 ± 0,5	4,0 ± 0,1	2,6 ± 0,1	0,5 ± 0,02	0,9 ± 0,02	0,4 ± 0,02	н/о	193,3 ± 1,4
Маша	46,6 ± 1,3	17,9 ± 0,2	7,9 ± 0,2	3,7 ± 0,1	49,1 ± 0,3	9,3 ± 0,2	0,9 ± 0,02	0,9 ± 0,02	1,0 ± 0,02	0,8 ± 0,03	н/о	138,9 ± 0,8
Морена	116,1 ± 1,8	29,9 ± 0,2	6,0 ± 0,1	4,4 ± 0,1	48,4 ± 0,2	4,2 ± 0,2	2,5 ± 0,1	0,5 ± 0,01	2,5 ± 0,1	0,5 ± 0,02	0,1 ± 0,01	215,8 ± 1,6
Нимфа	154,2 ± 2,3	н/о	6,9 ± 0,1	9,9 ± 0,2	н/о	108,3 ± 0,9	следы	2,0 ± 0,1	4,6 ± 0,2	2,0 ± 0,1	1,5 ± 0,03	290,2 ± 2,7
Огненный опал	106,5 ± 1,4	23,8 ± 0,2	6,0 ± 0,1	3,7 ± 0,1	34,1 ± 0,2	3,8 ± 0,1	3,1 ± 0,2	0,9 ± 0,03	2,5 ± 0,1	0,7 ± 0,02	3,0 ± 0,1	189,0 ± 1,6
Синий утес	171,1 ± 1,7	29,4 ± 0,3	6,9 ± 0,2	5,1 ± 0,1	81,3 ± 0,6	17,8 ± 0,2	1,5 ± 0,1	0,6 ± 0,02	1,5 ± 0,04	0,4 ± 0,01	0,1 ± 0,01	316,5 ± 3,5
Славянка	84,7 ± 0,6	н/о	н/о	17,9 ± 0,3	н/о	26,0 ± 0,2	следы	0,6 ± 0,02	3,6 ± 0,2	0,5 ± 0,02	1,6 ± 0,03	136,2 ± 1,8
Содружество	83,5 ± 0,5	следы	6,6 ± 0,2	1,8 ± 0,02	0,9 ± 0,03	4,1 ± 0,1	следы	0,5 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,3 ± 0,01	0,1 ± 0,01	133,4 ± 1,5
Сувенир	109,6 ± 1,7	13,3 ± 0,1	4,3 ± 0,1	4,8 ± 0,2	43,3 ± 0,3	8,9 ± 0,2	1,0 ± 0,03	0,6 ± 0,01	1,3 ± 0,04	0,3 ± 0,01	следы	188,0 ± 2,3
Темная ночь	71,3 ± 0,6	20,5 ± 0,2	н/о	1,4 ± 0,02	58,2 ± 0,3	7,9 ± 0,1	1,3 ± 0,03	0,8 ± 0,03	0,8 ± 0,02	0,7 ± 0,02	0,3 ± 0,01	165,6 ± 1,9

Содержание основных иридоидов и суммарное содержание иридоидов в исследованных образцах представлено в таблице 9. Общее содержание иридоидов варьировало в широком диапазоне: от 46,5 мг/100 г ('Аврора') до 316,5 мг/100 г ('Синий утес'). Также значительным количеством иридоидов отличались сорта 'Волхова', 'Индиго Гем' и 'Нимфа'. Преобладающим компонентом в составе иридоидов была логаниновая кислота, количество которой варьировало от 10,2 мг/100 г ('Аврора') до 188,7 мг/100 г ('Индиго Гем'). В достаточно больших количествах содержались логанин (2,5–108,3 мг/100 г), пентозид логанина (14,6–86,7 мг/100 г) и пентозид логаниновой кислоты (3,5–78,1 мг/100 г). Для российских, словацких, польских и американских сортов жимолости, выращенных в Польше, были установлены более узкие границы варьирования иридоидов – от 119,9 до 276,4 мг/100 г, основными из которых были логаниновая кислота, сумма логанина и сверозида, а также 7-эпилоганиновой кислоты

7-О-пентозид (Kucharska et al., 2017). Сорт 'Содружество' отличался от других исследованных сортов жимолости наличием значимых количеств изомера логанина № 3 (24,6 ± 0,4 мг/100 г), найденного нами ранее в сортах 'Синичка', 'Берель' и 'Голубое веретено', и изомера секологанина №9 (10,6 ± 0,2 мг/100 г).

Сахара и сорбит

Во всех исследованных образцах найдены фруктоза в количестве 2,31–4,63%, глюкоза – 1,81–3,54% и сорбит – 0,12–0,73% (табл. 10). В большинстве сортов преобладала фруктоза. Соотношение глюкоза/фруктоза в жимолости составило 0,68–0,99. Сахароза обнаруживалась в отдельных образцах в следовых количествах (0,02–0,06 г/100 г). В ранее изученных нами ягодах жимолости сахароза отсутствовала (Perova et al., 2019). Суммарное содержание сахаров варьировало от 4,12% в жимолости 'Аврора' до 8,17% в жимолости 'Волхова', среднее содержание сахаров составило 6,30%. В целом полученные

Таблица 10. Содержание сахаров и сорбита в жимолости

Table 10. The content of sugars and sorbitol in honeysuckle

Сорт	Содержание, г/100 г сырого веса, М ± m (n = 3)					Соотношение глюкоза/ фруктоза
	Фруктоза	Глюкоза	Сахароза	Сумма сахаров	Сорбит	
Авача	3,71 ± 0,12	2,89 ± 0,08	0,03 ± 0,001	6,63 ± 0,20	0,23 ± 0,01	0,78
Аврора	2,31 ± 0,08	1,81 ± 0,06	н/о*	4,12 ± 0,14	0,48 ± 0,01	0,78
Бакчарский великан	2,84 ± 0,08	2,27 ± 0,07	0,05 ± 0,002	5,16 ± 0,15	0,52 ± 0,02	0,80
Барышня	3,90 ± 0,17	2,85 ± 0,08	н/о	6,75 ± 0,25	0,73 ± 0,02	0,73
Блю Банана	3,55 ± 0,13	3,23 ± 0,08	н/о	6,78 ± 0,21	0,64 ± 0,02	0,91
Бореал Бист	3,12 ± 0,10	2,64 ± 0,08	н/о	5,76 ± 0,18	0,22 ± 0,01	0,85
Бореал Близзард	3,47 ± 0,11	3,44 ± 0,10	0,02 ± 0,001	6,93 ± 0,21	0,37 ± 0,01	0,99
Бореал Бьюти	3,23 ± 0,11	2,53 ± 0,07	н/о	5,76 ± 0,18	0,12 ± 0,003	0,78
Волхова	4,63 ± 0,17	3,49 ± 0,10	0,05 ± 0,002	8,17 ± 0,27	0,58 ± 0,02	0,75
Индиго Гем	3,74 ± 0,14	2,96 ± 0,09	н/о	6,70 ± 0,23	0,61 ± 0,01	0,79
Княгиня	3,92 ± 0,13	2,65 ± 0,07	н/о	6,57 ± 0,20	0,70 ± 0,02	0,68
Маша	3,32 ± 0,12	2,95 ± 0,07	н/о	6,27 ± 0,19	0,46 ± 0,01	0,89
Морена	3,76 ± 0,12	3,18 ± 0,09	0,04 ± 0,001	6,98 ± 0,21	0,42 ± 0,01	0,85
Нимфа	3,78 ± 0,15	2,92 ± 0,08	н/о	6,70 ± 0,23	0,58 ± 0,02	0,77
Огненный опал	3,13 ± 0,10	2,86 ± 0,08	н/о	4,99 ± 0,18	0,45 ± 0,01	0,91
Синий утес	3,67 ± 0,14	3,54 ± 0,09	н/о	7,21 ± 0,23	0,49 ± 0,01	0,96
Славянка	3,54 ± 0,13	2,74 ± 0,09	н/о	6,28 ± 0,22	0,45 ± 0,01	0,77
Содружество	3,64 ± 0,11	2,72 ± 0,08	н/о	6,36 ± 0,19	0,65 ± 0,02	0,75
Сувенир	3,28 ± 0,10	2,46 ± 0,07	0,06 ± 0,002	5,80 ± 0,17	0,24 ± 0,01	0,75
Темная ночь	3,40 ± 0,12	2,65 ± 0,08	н/о	6,05 ± 0,20	0,71 ± 0,02	0,78

Примечание: * Здесь и далее: < 0,1 г/кг

Note: * Here and after: < 0.1 g/kg

нами данные по содержанию моно- и дисахаридов в исследованных плодах жимолости близки к литературным данным по содержанию углеводов в сортах жимолости российского, чешского и польского происхождения, репродуктивных в Литве и Польше (Molina et al., 2019; Česonienė et al., 2021). Относительно низкое содержание сахаров при высоком содержании антоцианинов и проантоцианидинов по сравнению с другими популярными антоцианинсодержащими ягодами (например, красный и черный виноград, а также черешня содержат в среднем около 16% сахаров) является одним из факторов, определяющих перспективность жимолости как сырья для производства обогащенной пищевой продукции со сниженным содержанием углеводов, в том числе БАД к пище (Usenik et al., 2007; Ivanova et al., 2018).

Органические кислоты

Профиль органических кислот жимолости представлен лимонной, яблочной и хинной кислотами (табл. 11). Выявлены существенные различия в их накоплении между сортами. Преобладала лимонная кислота, содержания которой составили от 1027,7 мг/100 г в сорте 'Сувенир' до 2258,0 мг/100 г в сорте 'Огненный опал' при среднем уровне содержания лимонной кислоты

1642,9 г/100 г. Яблочную и хинную кислоту следует рассматривать как минорные (210,3–685,5 мг/100 г и 154,2–421,2 мг/100 г при среднем содержании 447,9 мг и 287,7 мг/100 г сырья соответственно). Различия в содержании органических кислот наблюдаются также в работах зарубежных авторов. В сортах жимолости российской, канадской и чешской селекции, выращенных в Литве и Словении (Šenica et al., 2018; Česonienė et al., 2021), были найдены более низкие количества лимонной, яблочной и хинной кислот (430,9–979,9 мг/100 г, 135,8–389,5 мг/100 г и 15,1–102,7 мг/100 г соответственно) по сравнению с изученными в данной работе сортами. В то же время в польской жимолости 'Войтек' содержание лимонной и яблочной кислот несколько превышало найденные нами максимальные уровни накопления этих кислот (Molina et al., 2019). Аскорбиновая кислота была обнаружена в незначительных количествах – от 3,55 до 5,50 мг/100 г в отдельных сортах ('Индиго Гем', 'Темная ночь', 'Бореал Бьюти', 'Авача' и 'Барышня'), в остальных сортах она присутствовала в следовых концентрациях. На основании этих данных жимолость не следует рассматривать как существенный источник аскорбиновой кислоты.

Таблица 11. Содержание органических кислот в жимолости

Table 11. The content of organic acids in honeysuckle

Сорт жимолости	Содержание, мг/100 г сырого веса, М ± m (n = 3)		
	Лимонная кислота	Яблочная кислота	Хинная кислота
Авача	1355,3 ± 94,9	298,4 ± 20,9	195,3 ± 13,7
Аврора	1253,6 ± 87,7	401,1 ± 28,1	203,7 ± 14,3
Бакчарский великан	1218,5 ± 85,3	354,6 ± 24,8	261,5 ± 18,3
Барышня	1650,7 ± 115,5	318,2 ± 22,3	378,3 ± 26,5
Блю Банана	1365,1 ± 95,5	226,8 ± 15,9	353,0 ± 24,7
Бореал Бист	1489,8 ± 104,3	327,6 ± 22,9	234,1 ± 16,4
Бореал Близзард	1307,2 ± 91,5	455,9 ± 31,9	272,5 ± 19,1
Бореал Бьюти	2140,3 ± 149,8	446,4 ± 31,2	421,2 ± 29,5
Волхова	1156,7 ± 80,9	229,5 ± 16,1	154,2 ± 10,8
Индиго Гем	1521,2 ± 106,5	433,1 ± 30,3	329,6 ± 23,1
Княгиня	1506,1 ± 105,4	307,6 ± 21,5	289,5 ± 20,3
Маша	1204,5 ± 84,3	210,3 ± 14,7	292,7 ± 20,5
Морена	1322,6 ± 92,6	330,2 ± 23,1	182,5 ± 12,8
Нимфа	1193,9 ± 83,6	331,0 ± 23,2	244,4 ± 17,1
Огненный опал	2258,0 ± 158,1	610,2 ± 42,7	307,9 ± 21,5
Синий утес	1802,2 ± 126,2	304,4 ± 21,3	345,2 ± 24,2
Славянка	1449,1 ± 101,4	685,5 ± 48,0	235,4 ± 16,5
Содружество	1560,4 ± 109,2	397,3 ± 27,8	395,4 ± 27,7
Сувенир	1027,7 ± 71,9	320,1 ± 22,4	229,0 ± 16,0
Темная ночь	1406,5 ± 98,5	659,8 ± 46,2	308,8 ± 21,6

Заключение

С помощью ВЭЖХ-ДМД-МСД детально изучен качественный и количественный состав антоцианинов, флавонолов и флавонов, ГКК и иридоидов плодов 20 сортов жимолости голубой *Lonicera caerulea*. Самыми значимыми с точки зрения биологической ценности группами БАВ в плодах жимолости являются антоцианины, проантоцианидины и иридоиды. Наиболее перспективными по содержанию трех вышеперечисленных групп БАВ сортами жимолости оказались 'Волхова', 'Синий утес', 'Индиго Гем' и 'Нимфа'. Жимолость 'Волхова' отличается от других сортов высокими уровнями накопления всех исследованных групп БАВ. Сорта 'Темная ночь', 'Аврора' и 'Бакчарский великан' характеризуются высоким содержанием антоцианинов, проантоцианидинов, ГКК при сниженном содержании иридоидов. Отдельные сорта могут рассматриваться как перспективные по накоплению антоцианинов ('Славянка') или проантоцианидинов и ГКК ('Содружество'). Выбранный химико-таксономический подход может быть использован как объективный критерий для рекомендации сортов жимолости для промышленного выращивания в качестве доступного высококачественного сырья для повышения биологической ценности специализированных пищевых продуктов и БАД к пище. Кроме того, данные по профилю антоцианинов, иридоидов, сахаров и сорбита, органических кислот могут быть использованы для разработки критериев подлинности продуктов переработки ягод жимолости.

References / Литература

- Bryksin D.M. Peculiarities of biochemical productivity and the most important economical and biological characteristics of the honeysuckle varieties received in N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2019;59:279-285. [in Russian] [Брыксин Д.М. Особенности биохимической продуктивности и важнейших хозяйственно-биологических признаков сортов жимолости селекции ФИЦ ВИР им. Н.И. Вавилова. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2019;59:279-285]. DOI: 10.31676/2073-4948-2019-59-279-285
- Caprioli G., Iannarelli R., Innocenti M., Bellumori M., Fiorini D., Sagratini G. et al. Blue honeysuckle fruit (*Lonicera caerulea* L.) from eastern Russia: phenolic composition, nutritional value and biological activities of its polar extracts. *Food and Function*. 2016;7(4):1892-1903 DOI: 10.1039/c6fo00203j
- Česonienė L., Labokas J., Jasutienė I., Šarkinas A., Kaškonienė V., Kaškonas P. et al. Bioactive compounds, antioxidant, and antibacterial properties of *Lonicera caerulea* berries: evaluation of 11 cultivars. *Plants*. 2021;10(4):624. DOI: 10.3390/plants10040624
- Danielewski M., Matuszewska A., Nowak B., Kucharska A.Z., Sozański T. The effects of natural iridoids and anthocyanins on selected parameters of liver and cardiovascular system functions. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2020;2020:2735790. DOI: 10.1155/2020/2735790
- Danielewski M., Matuszewska A., Szelaġ A., Sozański T. The impact of anthocyanins and iridoids on transcription factors crucial for lipid and cholesterol homeostasis. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021;22(11):6074. DOI: 10.3390/ijms22116074
- Gawroński J., Żebrowska J., Pabich M., Jackowska I., Kowalczyk K., Dyduch-Siemińska M. Phytochemical characterization of blue honeysuckle in relation to the genotypic diversity of *Lonicera* sp. *Applied Sciences*. 2020;10(18):6545. DOI: 10.3390/app10186545
- GOST 31669-2012. Interstate standard. Juice products. Determination of sucrose, glucose, fructose and sorbite by high performance liquid chromatography (HPLC). Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ 31669-2012. Межгосударственный стандарт. Продукция соковая. Определение сахарозы, глюкозы, фруктозы и сорбита методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Москва: Стандартинформ; 2019). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095347> [дата обращения: 11.08.2022].
- GOST 32709-2014. Interstate standard. Juice products. Methods for determination of Anthocyanins. Moscow: Standartinform; 2014. [in Russian] (ГОСТ 32709-2014. Межгосударственный стандарт. Продукция соковая. Методы определения антоцианинов. Москва: Стандартинформ; 2014). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200111757> [дата обращения: 10.08.2022].
- GOST 32771-2014. Interstate standard. Juice products. Determination of organic acids by reversed-phase High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Moscow: Standartinform; 2014. [in Russian] (ГОСТ 32771-2014. Межгосударственный стандарт. Продукция соковая. Определение органических кислот проводили методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии. Москва: Стандартинформ; 2014). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200112771> [дата обращения: 10.08.2022].
- Grobela A., Kalisz S., Kieliszek M. Effect of processing methods and storage time on the content of bioactive compounds in blue honeysuckle berry purees. *Agronomy*. 2019;9(12):860. DOI: 10.3390/agronomy9120860
- Ivanova N.N., Khomich L.M., Perova I.B., Eller K.I. Grape juice nutritional profile. *Problems of Nutrition*. 2018;87(6):95-105. [in Russian] (Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б., Эллер К.И. Нутриентный профиль виноградного сока. *Вопросы питания*. 2018;87(6):95-105). DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10071
- Kucharska A.Z., Sokół-Łętowska A., Oszmiański J., Piórecki N., Fecka I. Iridoids, phenolic compounds and antioxidant activity of edible honeysuckle berries (*Lonicera caerulea* var. *kamtschatica* Sevast.). *Molecules*. 2017;22(3):405. DOI: 10.3390/molecules22030405
- Molina A.K., Vega E.N., Pereira C., Dias M.I., Heleno S.A., Rodrigues P. et al. Promising antioxidant and antimicrobial food colourants from *Lonicera caerulea* L. var. *kamtschatica*. *Antioxidants*. 2019;8(9):394. DOI: 10.3390/antiox8090394
- Orsavová J., Sytařová I., Miček J., Mišurcová L. Phenolic compounds, vitamins C and E and antioxidant activity of edible honeysuckle berries (*Lonicera caerulea* L. var. *kamtschatica* Pojark) in relation to their origin. *Antioxidants*. 2022;11(2):433. DOI: 10.3390/antiox11020433
- Perova I.B., Rylyna E.V., Eller K.I., Akimov M.Yu. The study of the polyphenolic complex and iridoid glycosides in various cultivars of edible honeysuckle fruits *Lonicera edulis* Turcz. ex Freyn. *Problems of Nutrition*. 2019;88(6):88-92. [in Russian] (Перова И.Б., Рылина Е.В., Эллер К.И., Акимов М.Ю. Исследование полифенольного комплекса и иридоидных гликозидов в различных сортах плодов жимолости съедобной *Lonicera edulis*

- Turcz. ex Freyn. *Вопросы питания*. 2019;88(6):88-92). DOI: 10.24411/0042-8833-2019-10069
- Perova I.B., Zhogova A.A., Polyakova A.V., Eller K.I., Ramenskaya G.V., Samylina I.A. Biologically active substances of Cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.) *Problems of Nutrition*. 2014;83(5):86-93. [in Russian] (Перова И.Б., Жогова А.А., Полякова А.В., Эллер К.И., Раменская Г.В., Самылина И.А. Биологически активные вещества плодов кизила обыкновенного *Cornus mas* L. *Вопросы питания*. 2014;83(5):86-93).
- Qi Q., Chu M., Yu X., Xie Y., Li Y., Du Y. et al. Anthocyanins and proanthocyanidins: chemical structures, food sources, bioactivities, and product development. *Food Reviews International*. 2022;38:1-29. DOI: 10.1080/87559129.2022.2029479
- Šenica M., Stampar F., Mikulic-Petkovsek M. Blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L. subs. *edulis*) berry; a rich source of some nutrients and their differences among four different cultivars. *Scientia Horticulturae*. 2018;238:215-221. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.04.056
- Tutelyan V.A., Eller K.I. (eds). Methods of analysis of minor biologically active substances of food (Metody analiza minornykh biologicheskikh aktivnykh veshchestv pishchi). Moscow: Dinastiya; 2010. [in Russian] (Методы анализа минорных биологически активных веществ пищи / под ред. В.А. Тутельяна, К.И. Эллера. Москва: Династия; 2010).
- Usenik V., Fabčić J., Štampar F. Sugars, organic acids, phenolic composition and antioxidant activity of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Food Chemistry*. 2007;107(1):185-192. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.08.004
- Wang C., Gong X., Bo A., Zhang L., Zhang M., Zang E. et al. Iridoids: research advances in their phytochemistry, biological activities, and pharmacokinetics. *Molecules*. 2020;25(2):287. DOI: 10.3390/molecules25020287
- Zhidyokhina T.V., Koveshnikova Y.Yu., Bryksin D.M., Rodyukova O.S., Khromov N.V., Guryeva I.V. The main achievements on breeding and variety study of small-fruits and non-traditional horticultural crops in I.V. Michurin All-Russian Research Institute of Horticulture. *Horticulture and viticulture*. 2016;(1):12-19. [in Russian] (Жидехина Т.В., Ковешникова Е.Ю., Брыксин Д.М., Родюкова О.С., Хромов Н.В., Гурьева И.В. Основные достижения в селекции и сортоизучении ягодных и нетрадиционных садовых культур во ВНИИС им. И.В. Мичурина. *Садоводство и виноградарство*. 2016;(1):12-19). DOI: 10.31676/0235-2591-2016-1-12-19

Информация об авторах

Ирина Борисовна Перова, кандидат фармацевтических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, 109240 Россия, Москва, Устьинский проезд, 2/14, Erin.Feather@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5975-1376>

Константин Исаакович Эллер, доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, 109240 Россия, Москва, Устьинский проезд, 2/14, Ellki42@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1046-4442>

Макар Алексеевич Герасимов, лаборант-исследователь, Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, 109240 Россия, Москва, Устьинский проезд, 2/14, аспирант, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, 119991 Россия, Москва, ул. Трубецкая, 8., стр. 2, makar.geras.98@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0181-284X>

Вера Александровна Батурина, ведущий инженер-исследователь, Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, 109240 Россия, Москва, Устьинский проезд, 2/14, baturina-vera@mail.ru

Михаил Юрьевич Акимов, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, 393774 Россия, Тамбовская область, Мичуринск, ул. Мичурина, 30, misha_mich@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1990-4902>

Ольга Михайловна Акимова, научный сотрудник, Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, 393774 Россия, Тамбовская область, Мичуринск, ул. Мичурина, 30, akimova_68@mail.ru

Алексей Михайлович Миронов, младший научный сотрудник, Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, 393774 Россия, Тамбовская область, Мичуринск, ул. Мичурина, 30, sigurd32@gmail.com

Владимир Александрович Кольцов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, 393774 Россия, Тамбовская область, Мичуринск, ул. Мичурина, 30, kolcov.mich@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2841-6126>

Information about the authors

Irina B. Perova, Cand. Sci. (Pharmacy), Senior Researcher, Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 2/14 Ustinsky Proezd, Moscow 109240, Russia, Erin.Feather@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5975-1376>

Konstantin I. Eller, Dr. Sci. (Chemistry), Chief Researcher, Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 2/14 Ustinsky Proezd, Moscow 109240, Russia, Ellki42@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1046-4442>

Makar A. Gerasimov, Laboratory Research Assistant, Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 2/14 Ustinsky Proezd, Moscow 109240, Russia, Postgraduate Student, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Bldg. 2. 8 Trubetskaya St., Moscow 119991, Russia, makar.geras.98@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0181-284X>

Vera A. Baturina, Leading Research Engineer, Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 2/14 Ustinsky Proezd, Moscow 109240, Russia, baturina-vera@mail.ru

Mikhail Yu. Akimov, Dr. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, I.V. Michurin Federal Science Center, 30 Michurina St., Michurinsk, Tambov Province 393774, Russia, misha_mich@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1990-4902>

Olga M. Akimova, Researcher, I.V. Michurin Federal Science Center, 30 Michurina St., Michurinsk, Tambov Province 393774, Russia, akimova_68@mail.ru

Alexey M. Mironov, Associate Researcher, I.V. Michurin Federal Science Center, 30 Michurina St., Michurinsk, Tambov Province 393774, Russia, sigurd32@gmail.com

Vladimir A. Koltsov, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, I.V. Michurin Federal Science Center, 30 Michurina St., Michurinsk, Tambov Province 393774, Russia, kolcov.mich@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2841-6126>

Вклад авторов: Эллер К.И., Перова И.Б., Акимов М.А. – концепция и дизайн исследования. Перова И.Б., Герасимов М.А., Батурина В.А., Акимова О.М., Миронов А.М., Кольцов В.А. – сбор материалов. Перова И.Б., Эллер К.И., Герасимов М.А., Кольцов В.А. – подготовка текста статьи. Перова И.Б., Эллер К.И., Кольцов В.А. – редактирование и утверждение окончательного варианта статьи.

Contribution of the authors: Eller K.I., Perova I.B., Akimov M.Yu. – research concept and design. Perova I.B., Gerasimov M.A., Baturina V.A., Akimova O.M., Mironov A.M., Koltsov V.A. – data collection. Perova I.B., Eller K.I., Gerasimov M.A., Koltsov V.A. – writing of the article. Perova I.B., Eller K.I., Koltsov V.A. – editing and approval of the article's final version.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.10.2022; одобрена после рецензирования 02.02.2023; принята к публикации 02.03.2023.
The article was submitted on 24.10.2022; approved after reviewing on 02.02.2023; accepted for publication on 02.03.2023.

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

UDC 633.923.322:581.1:631.8(510)

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-70-78

**Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium base fertilizers on growth and yield of *Taraxacum kok-saghyz* Rodin****Wentian Zhang¹, Fuyun Zheng¹, Dianwen Wei¹, Guang Shen¹, Xiangjun Zeng², Nina G. Kon'kova³**¹ *Institute of Natural Resources and Ecology, Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin, China*² *Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin, China*³ *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia***Corresponding author:** Guang Shen, shen19772@163.com

Taraxacum kok-saghyz (TKS) is a promising natural rubber plant. In the current study we investigated effects of nitrogen, phosphorus, and potassium base fertilizers on growth and yield of TKS through the field experiments. We found that appropriate application of nitrogen, phosphorus, and potassium base fertilizers can significantly increase root, rubber and total sugar yield of TKS. The TKS rubber yield enhanced significantly when the amount of nitrogen and phosphorus, potassium increased accordingly to 107.2, 10.5 and 35.3 g m⁻². Maximum accumulation of rubber in the TSK roots is caused by application of potassium fertilizer.

According to the obtained results the recommended amount of base fertilizers under conditions of Harbin Experimental Station (N45.592729°, E126.581668°) is 107.2 g m⁻² of urea, 43.4 g m⁻² of calcium superphosphate, 10.5 g m⁻² of potassium chloride.

Keywords: fertilizer effects, rubber, sugar, leaf biomass

Acknowledgements: the work was supported by the Scientific Research Fund of Heilongjiang Academy of Sciences under grant number KY2019ZR02; the work was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0005.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Zhang W., Zheng F., Wei D., Shen G., Zeng X., Kon'kova N.G. Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium base fertilizers on growth and yield of *Taraxacum kok-saghyz* Rodin. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):70-78. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-70-78

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-70-78

Влияние азотных, фосфорных и калийных удобрений на рост и урожайность *Taraxacum kok-saghyz* Rodin

В. Чжан¹, Ф. Чжэн¹, Д. Вэй¹, Г. Шен¹, С. Цзэн², Н. Г. Конькова³

¹ Институт природных ресурсов и экологии Академии наук провинции Хэйлунцзян, Харбин, Китай

² Академия наук провинции Хэйлунцзян, Харбин, Китай

³ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Гуанг Шен, shen19772@163.com

Кок-сагыз (*Taraxacum kok-saghyz* Rodin) – многолетнее травянистое растение, перспективное в качестве источника натурального каучука. Данное исследование описывает влияние азотных, фосфорных и калийных удобрений на рост и урожайность кок-сагыза при помощи эксперимента в полевых условиях. Мы обнаружили, что правильное внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений может значительно увеличить урожайность корней, выход каучука и общего сахара у кок-сагыза. При внесении количества азотно-основного удобрения, увеличенного с 0 до 107,2 г м⁻², тенденция изменения урожайности каучука соответствовала явному увеличению; при внесении количества фосфорно-основного удобрения, увеличенного с 0 до 10,5 г м⁻², тенденция изменения урожайности каучука также соответствовала значительному увеличению; при внесении удобрения на основе калия, увеличенного с 0 до 35,3 г м⁻², тенденция изменения урожайности каучука соответствовала наибольшему увеличению.

Согласно нашим рекомендациям, в местных почвенных условиях экспериментальной станции в Харбине (N45.592729°, E126.581668°) количество основного удобрения должно составлять: 107,2 г м⁻² мочевины, 43,4 г м⁻² суперфосфата кальция, 10,5 г м⁻² хлористого калия.

Ключевые слова: кок-сагыз, азот, фосфор, калий, базовое удобрение, каучук

Благодарности: работа была поддержана Фондом научных исследований Академии наук провинции Хэйлунцзян в рамках гранта № KY2019ZR02; работа выполнялась в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № OFGEM-2022-0005.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Чжан В., Чжэн Ф., Вэй Д., Шен Г., Цзэн С., Конькова Н.Г. Влияние азотных, фосфорных и калийных удобрений на рост и урожайность *Taraxacum kok-saghyz* Rodin. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023;184(1):70-78. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-70-78

Introduction

Taraxacum kok-saghyz Rodin (TKS) is a perennial plant which belongs to the *Taraxacum* genus of the Asteraceae family. Its root contains 2.89–27.89% of rubber (Whaley, Bowen, 1947; Luo, 1951; Shen et al., 2018; Shen et al., 2019) and 25–40% of inulin (Polhamus, 1962). TKS leaves also have high antioxidant potential because of their rich total phenolic, tannic phenolic, and total flavonoid content (Kong et al., 2021). Because of its short growth cycle, TKS can be a model plant for natural rubber synthesis mechanism investigation (Schmidt et al., 2010). Therefore, TKS is a plant of high economic and scientific importance.

Numerous studies have shown that fertilizers are very important for growth and yield of TKS. Among the essential nutrients, nitrogen (N) is the most important, followed by magnesium and potassium (K). The influence of calcium and phosphorus (P) is relatively small. The non-essential nutrients – boron and zinc – also have a certain impact on rubber production (Meyer, 1945).

Nieman (Luo, 1951) pointed out that a small amount of N fertilizer can increase rubber content and yield of TKS roots, but excessive amount of N fertilizer will reduce them; N sometimes reduces the sugar content, while P and K promote the sugar accumulation. Coster's results showed that fertilization does not increase rubber content and root yield; another ones argue that the effect of N fertilizers depends on the local soil and climatic characteristics (Whaley, Bowen, 1947; Luo, 1951; Stepanov et al., 1952). For example, P increases the rubber content in humid climates, while under dry climate conditions has the reverse effect (Luo, 1951). The interaction between nutrient elements has not been sufficiently studied, but some investigations have pointed out that the rubber yield can be most effectively improved when the ratio of N and P is 1 : 1. Previous recommendations on N, P, and K application are about 56 kg of nitrogen, 148 kg of P, and 99 kg of K per hectare. The time and depth of fertilization are also important. Most of the fertilizers should be applied into the soil already prepared to the spring sowing in autumn. The optimal time for the first fertilization is the stage of third leave formation; for the second, when the flower buds are formed. The depth of the first fertilization is 3.8–5.1 cm, and of the second 10.2–11.9 cm (Luo, 1951). The experiment conducted by the U.S. Department of Agriculture in 1942–1943 showed that additional fertilizers added in the soil with sufficient nutrition didn't affect the rubber accumulation in the TKS roots, but reduced the TKS roots yield. For a guaranteed high yield of TKS roots, rubber and seeds, Luo suggested the following fertilizer application scheme: P application should be in the spring (before sowing), $\frac{1}{2}$ N and K before the flowering, $\frac{1}{4}$ N and K during the budding, and $\frac{1}{4}$ N and K at the full blooming stage. The current study is relevant in connection with the following:

First, although there are many studies into the effects of N, P, and K on TKS development, most of the TKS investigations were carried out before 1960, and researchers paid more attention to the impact of fertilizers on rubber yield, and less on the content of other components and sugars. Secondly, the climate affects the crop's nutrient requirements, which continues to be relevant. Currently, much attention is paid to the application of fertilizers.

Researchers indicated that N, P, and K should be applied three times: basal and two top-dressing fertilization at the 3–4 real leaves and budding stage (Luo, 1951; Stepanov, 1952; Bruulsema et al., 2012).

Crop fertilization is generally divided into base and top-dressing fertilizer application. The base fertilizer satisfies the nutritional needs of crops throughout the growing season, especially in the early stages of development. Top dressing fertilization is necessary during the critical period of plant development. Therefore, the efficiency of using only the base fertilizer will be relatively low. In the current experiment we studied only the impact of the base fertilizer on the parameters of final TKS yield. The base fertilizer provides nutrients for the entire period of crop growth, and investigating the fertilizer's influence on the indicators of economically significant crops continues to be relevant. The objectives of our research were: assessing the effect of N, P, and K fertilizers on the main indicators of root yield and rubber yield, finding the relationship between the application amount of N, P, K base fertilizers and TKS economically significant indicators, and revealing the fertilizer's optimal amount for each economically significant indicator.

Materials and methods

This experiment was carried out on the experimental station in Harbin (N45.592729°, E126.581668°) in 2015. Harbin has mid-temperate continental monsoon climate with average annual temperature of 4.2°C, annual precipitation of 569 mm, and the frost-free period of 145 days. The soil type is soddy/slightly podzolic. The physical and chemical properties are organic carbon 53.95 g kg⁻¹, total nitrogen 2.04 g kg⁻¹, total phosphorus 0.85 g kg⁻¹, total potassium 26.40 g kg⁻¹, alkaline hydrolysis nitrogen 160.2 mg kg⁻¹, available phosphorus 76.9 mg kg⁻¹, available potassium 302.0 mg kg⁻¹, pH 6.78, bulk density 2.56 g cm⁻³.

Plant materials

All plant materials were obtained from the K-445 strain introduced from N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources, Russia, in 2012. After 2 years of adaptation to the local conditions, the seeds were harvested in 2014, and stored in a refrigerator at 4°C after cleaning. During the experiment, the seeds were planted in a greenhouse in mid-April (16–22°C); the seedlings at the stage of 5–7 leaves were transferred to the field (in July – 1.2 months after germination).

Experimental design

The field was divided into 3 blocks. One block consisted of 12 plots, 36 plots throughout the trial.

Soil preparation and transplanting

Soil was ploughed 30 cm deep and broken finely to make a bed. Each experimental plot (bed), facing east/west, was 1.5 m wide, 12 m long, and 40 cm apart. Each fertilizer was evenly applied into the corresponding bed, then the fertilizer was evenly mixed with the soil. No fertilizer was added into the control plot.

There were three factors: different application amount of nitrogen, phosphorus, and potassium, three levels of each (N as N1, N2, N3, P as P1, P2, P3, K as K1, K2, K3), and one control (CK). Fertilizers added before TKS seedling transplantation were urea (CO(NH₂)₂, 46.4% of N), calcium superphosphate (Ca(H₂PO₄)₂·H₂O, 24.2% of P), and potassium chloride (KCl, 52.4% of K). Application amounts of urea were 77, 154, and 231 g m⁻², or 35.7, 71.5, and 107.2 g m⁻² of N; 14.5, 28.9, 43.4 g m⁻² or 3.5, 7, 10.5 g m⁻² of P; potassium chloride, 22.5, 45.0, 67.5 g m⁻² or 11.8, 23.6, 35.3 g m⁻² of K, respectively. TKS seedlings were randomly transplanted into each bed, the

spacing between rows was 30 × 30 cm. Watering and weeding were timely applied.

Determined methods

Every 20 days, growth conditions were checked and 30 plants were randomly selected to measure the crown width and number of leaves. In early November, after the aboveground part withered, the biomass, rubber content, total sugar and reducing sugar content were measured by underground parts' assay.

Soil organic carbon was determined by the potassium dichromate external heating method, total nitrogen by the Kjeldahl method, available nitrogen by the indophenol blue colorimetric method, total phosphorus by the molybdenum antimony anticolorimetric method, total potassium by the sodium hydroxide melting method, available potassium by the sodium acetate extraction method, available phosphorus by the sodium bicarbonate method, and bulk density by the ring knife method. All methods mentioned above were described by Bao (2000). Total sugar content was assessed by the anthrone colorimetry method (Gao, 2006), and rubber content by the mid-infrared Fourier transform method (Liu, 2016). Total sugar yield = Total sugar content × root dry weight/unit field area. Rubber yield = rubber content × root dry weight/unit field area (Gao, 2006; Liu, 2016).

Data processing and analysis

In order to study the influence of each nutrient element on each index of TKS, we used a two-way variance analysis. If the ANOVA results showed a significant effect, a planned comparison was performed, namely, the total variance was decomposed into within-group and between-group effects, respectively. Among them, the influence of within-group was dealt with a trend test to examine the relationship between nutrients and various indicators. We used the trend analysis method and according to the P value ($\alpha = 0.05$) and the proportion of variance (η^2) determined a suitable model. The larger the value of η^2 , the more obvious the trend. The specific calculation method refers to the work of Roger E. Kirk (2013). Since the trend analysis was to carry out the variance analysis within the numerical variation range of the current measurement index, the fitted equation model was only applicable to the current numerical range. The between-group effect was examined to determine the significance of the difference between each treatment and the control to determine the optimum amount of fertilization. If it could not be determined, a post-hoc comparison was performed, and the Bonferroni method was used for statistical methods. For the specific calculation method, we referred to Roger E. Kirk (2013). We used R language (Core, 2020) to perform data preprocessing, variance analysis, trend test in the R Studio (R Studio Team, 2015) environment, and finally we used the ggplot2 (Wickham, 2016) library in the R language combined with the patchwork library to plot.

Results and analysis

N base fertilizers. Crown diameters of TSK treated with N base fertilizers were growing with an increase of the growth time. After August 24, the growth process slowed down, which corresponds to the early growing stage. The difference between N-fertilized and control plants (CK) was extremely significant (N2 and CK – $P < 0.01$; N3 and CK – $P < 0.05$). Finally, the differences in the crown diameter among N-treated plants were not significant; average plant crown diameters were between 27.0 and 28.2 cm,

which increased by more than 2 times compared with the initial growth stage.

Leaf area indices after N base fertilizer treatments increased in accordance with growth time, but gradually slowed down after 24th. At the initial growth stage, the differences were extremely significant ($P < 0.01$), then differences gradually disappeared, and finally there was no significant difference. The leaf area index for N1 was the highest (134.6), leaf area indices for N1–3 increased by more than 10 times compared with the initial growth stage.

Leaf biomass increased with growing time for N1–3 and gradually slowed down after August 24. At the early stage, the leaf biomass for N2 and N3 were significantly different from CK and N1 ($P < 0.01$). Then differences dropped down and finally disappeared. The N1 leaf biomass was the highest – 74.9 g/m², N1–3 increased the leaf biomass by nearly 10 times compared with the initial growth stage.

P base fertilizers. The crown diameter after all P base fertilizer treatments increased with growing time, and then gradually slowed down after August 24th. At the early stage, the difference between crown diameters of CK and P1 and P2 was extremely significant. The average crown diameter for each treatment was between 24.8 and 27.0 cm, which was more than 2.5 times higher compared with the initial growth stage.

The leaf area index of all P base fertilizer treatments gradually slowed down after August 24. At the early stage, the differences between P1, P2 and P3 treatments and CK, P2 and P3 were extremely significant. Then the significance between treatments changed continuously. The leaf area index for P2 was significantly greater than CK, and extremely significantly greater than P3, but not considerably differed from P1. The leaf area index for P 1–3 increased by at least 10 times compared with the initial growth stage.

Leaf biomass of P 1–3 increased obviously with increasing growth time and gradually slowed down after August 24th. In the early stage of growth, leaf biomasses for P1, P2 and P3 were significantly larger than that for CK. During the growth process, the significance of distinction between P 1–3 changed continuously. Finally, the leaf biomass after P2 treatment was significantly larger than for CK and P3, but not significantly differed from P1.

The leaf biomass for each treatment was between 48.3 and 80.9 g m⁻², which was about 10 times higher compared with the early stage of growth.

K base fertilizer. The crown diameter for K1–3 increased with growing time, but gradually slowed down after August 24. There were no significant differences between K1–3 parameters during the experiment period. The average crown diameter was between 25.0 and 28.1 cm, with an increase of more than 2.5 times compared with the initial growth stage.

The leaf area index for K1–3 increased obviously with an increase of growth time, and gradually slowed down after August 24th. At the early stage of growth, an essential difference between K2 and CK, K3 and CK, K1 and other groups was detected. The leaf area indexes were between 3.94 and 4.18, which was about 10 times higher than at the early growth stage.

Leaf biomass increased significantly with growing time for K1–3 and gradually slowed down after August 24th. At the early stage of growth, differences between the parameters of K3 and CK, K3 and K1, K2 and K1 were extremely significant. Finally, no considerable distinctions between K1–3 parameters were detected. Leaf biomass after each treatment was between 52.9 and 61.2 g m⁻², which was more than 10 times higher than at the early growth stage.

Trend analysis of NPK base fertilizer effects on TKS yield and its component factors

When processing N1–3, P1–3 and K1–3, there were no significant differences between the biomass of leaves, roots, rubber content, sugars or rubber yield of the material collected in the corresponding areas of the field.

N base fertilizer. The N base fertilizer significantly affected parameters of TKS leaf biomass ($F = 5.07$, $P = 0.044$); when the amount of the N base fertilizer increased from 0 to 107.2 g m^{-2} , the leaf biomass amount changed from 54.5 to 57.0 g m^{-2} , then to 52.9 g m^{-2} . N1 treatment resulted in the highest leaf biomass, reaching 74.89 g m^{-2} , which was about 40% higher than CK ($F = 11.90$, $P = 0.014$).

N base fertilizer application significantly affected parameters of TKS root biomass ($F = 31.24$, $P < 0.001$); when the amount of the N base fertilizer increased from 0 to 107.2 g m^{-2} , the root biomass increased from 82.7 to 124.9 g m^{-2} . N3 treatment led to the highest root biomass, reaching 124.9 g m^{-2} , which was about 50% higher than CK ($F = 69.20$, $P = 0.001$).

The N base fertilizer had a very significant effect on TKS rubber content ($F = 301.17$, $P = 0.001$); when the N base fertilizer increased from 0 to 107.2 g m^{-2} , the rubber content in-

creased from 5.07% to 6.07%. N3 treatment showed the highest rubber content, reaching 6.07%, which was about 20% higher than CK ($F = 660.41$, $P = 0.001$).

The N base fertilizer had a significant effect on the TKS total sugar content ($F = 8.40$, $P = 0.014$); when the N base fertilizer increased from 0 to 107.2 g m^{-2} , the total sugar content changed from 46.8% to 45.0%. Only the difference between N2 and CK was extremely significant. Among the four treatments, the highest total sugar content had the CK group ($F = 21.68$, $P = 0.004$) (Fig. 1, D).

The N base fertilizer had a very significant effect on TKS rubber yield ($F = 70.71$, $P = 0.001$). When the N base fertilizer increased from 0 to 107.2 g m^{-2} , the rubber yield increased from 4.19 g m^{-2} to 7.58 g m^{-2} . N3 treatment resulted in the highest rubber yield, reaching 7.58 g m^{-2} , about 80% higher than CK ($F = 166.06$, $P = 0.001$) (Fig. 1, E).

The N base fertilizer had a very significant effect on the TKS total sugar yield ($F = 27.33$, $P = 0.001$). When the N base fertilizer increased from 0 to 107.2 g m^{-2} , the total sugar yield increased from 38.7 g m^{-2} up to 56.2 g m^{-2} . N3 treatment resulted in the highest total sugar yield, reaching 56.23 g m^{-2} , which was about 40% higher than the CK ($F = 65.53$, $P = 0.001$) (Fig. 1, F).

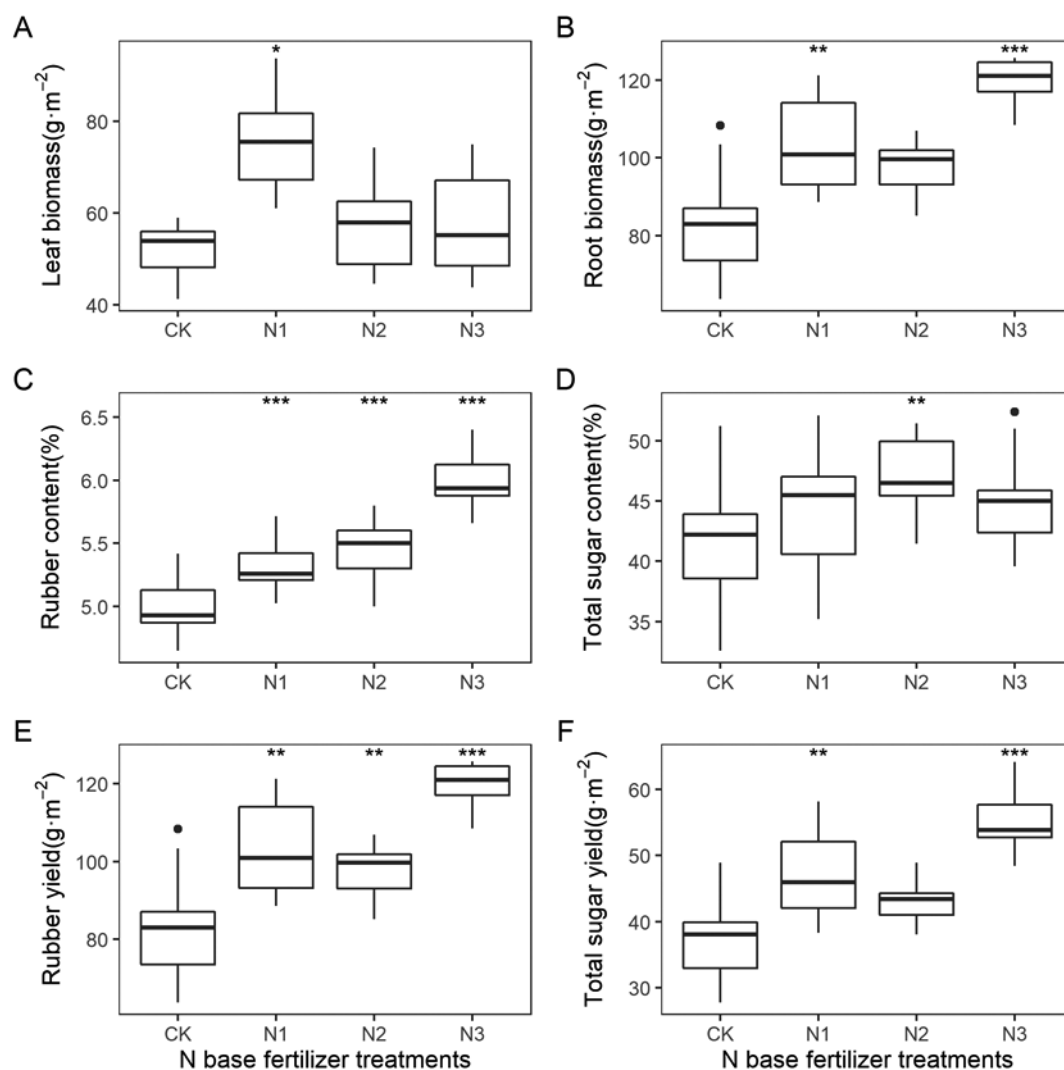


Fig. 1. Effects of nitrogen base fertilizers on leaf biomass, root biomass, rubber concentration, sugar concentration, rubber yield, and sugar yield of *Taraxacum kok-saghyz* Rodin (TKS)

Рис. 1. Влияние азотных удобрений на биомассу листьев, биомассу корней, концентрацию каучука, концентрацию сахара, выход каучука и выход сахара у кок-сагыза (*Taraxacum kok-saghyz* Rodin)

P base fertilizer. The effect of the P base fertilizer on TKS leaf dry weight was significant ($F = 8.31$, $P = 0.015$). When the P base fertilizer increased from 0 to 10.5 g m^{-2} , the leaf biomass changed from 61.2 g m^{-2} to 48.3 g m^{-2} . P2 treatment led to the highest leaf dry weight, reaching 80.88 g m^{-2} , more than 30% compared with CK ($F = 9.12$, $P = 0.023$) (Fig. 2, A).

The effect of the P base fertilizer on the TKS root biomass was extremely significant ($F = 23.16$, $P = 0.001$). When the P base fertilizer increased from 0 to 10.5 g m^{-2} , the root biomass changed from 54.5 to 82.7 g m^{-2} , then to 108.7 g m^{-2} . P1 treatment resulted in the highest root biomass, reaching 117.40 g m^{-2} , which was about 35% higher than CK ($F = 63.18$, $P = 0.001$) (Fig. 2, B).

The effect of the P base fertilizer on the rubber content of TKS was extremely significant ($F = 65.08$, $P = 0.001$). When the P base fertilizer increased from 0 to 10.5 g m^{-2} , the rubber content increased from 5.07% to 5.97%. Among the four treatments, the highest rubber content was reached with P3 treatment, amounting to 5.97%, which was about 20% higher than CK ($F = 139.27$, $P = 0.001$) (Fig. 2, C).

The P base fertilizer had a significant effect on the TKS total sugar content ($F = 7.36$, $P = 0.020$). When the P base fertilizer increased from 0 to 10.5 g m^{-2} , the total sugar content increased from 46.8% to 52.7%. The highest rubber content

was registered for P3 group, reaching 48.43%, which was about 4% higher than CK ($F = 20.70$, $P = 0.004$) (Fig. 2, D). The effect of the P base fertilizer on TKS rubber yield was extremely significant ($F = 35.49$, $P = 0.001$). When the P base fertilizer increased from 0 to 10.5 g m^{-2} , the rubber yield increased from 4.2 g m^{-2} to 6.5 g m^{-2} . P2 and P3 resulted in the highest rubber yield, reaching $5.95\text{--}6.49 \text{ g m}^{-2}$, which was higher than CK by around 50% ($F = 12.29$, $P = 0.013$; $F = 26.71$, $P = 0.002$) (Fig. 2, E).

The P base fertilizer had a very significant effect on the TKS total sugar yield ($F = 23.87$, $P = 0.001$). When P base fertilizer application increased from 0 to 10.5 g m^{-2} , the total sugar yield increased from 38.7 g m^{-2} up to 52.6 g m^{-2} . P1 and P3 demonstrated the highest rubber yield, reaching $52.65\text{--}54.72 \text{ g m}^{-2}$, that was about 40% higher than CK ($F = 59.80$, $P = 0.001$; $F = 7.93$, $P = 0.031$) (Fig. 2, F).

K base fertilizer. Application of K fertilizers caused a stable decline in TKS leaf dry weight.

The K base fertilizer had a very significant effect on TKS root biomass ($F = 134.41$, $P = 0.001$). When the K base fertilizer increased from 0 to 35.3 g m^{-2} , the root biomass increased from 82.7 g m^{-2} to 142 g m^{-2} . K3 treatment caused the highest root biomass, reaching 142 g m^{-2} , which was more than 70% higher than CK ($F = 10.95$, $P = 0.016$; $F = 391.01$, $P = 0.001$) (Fig. 3, B).

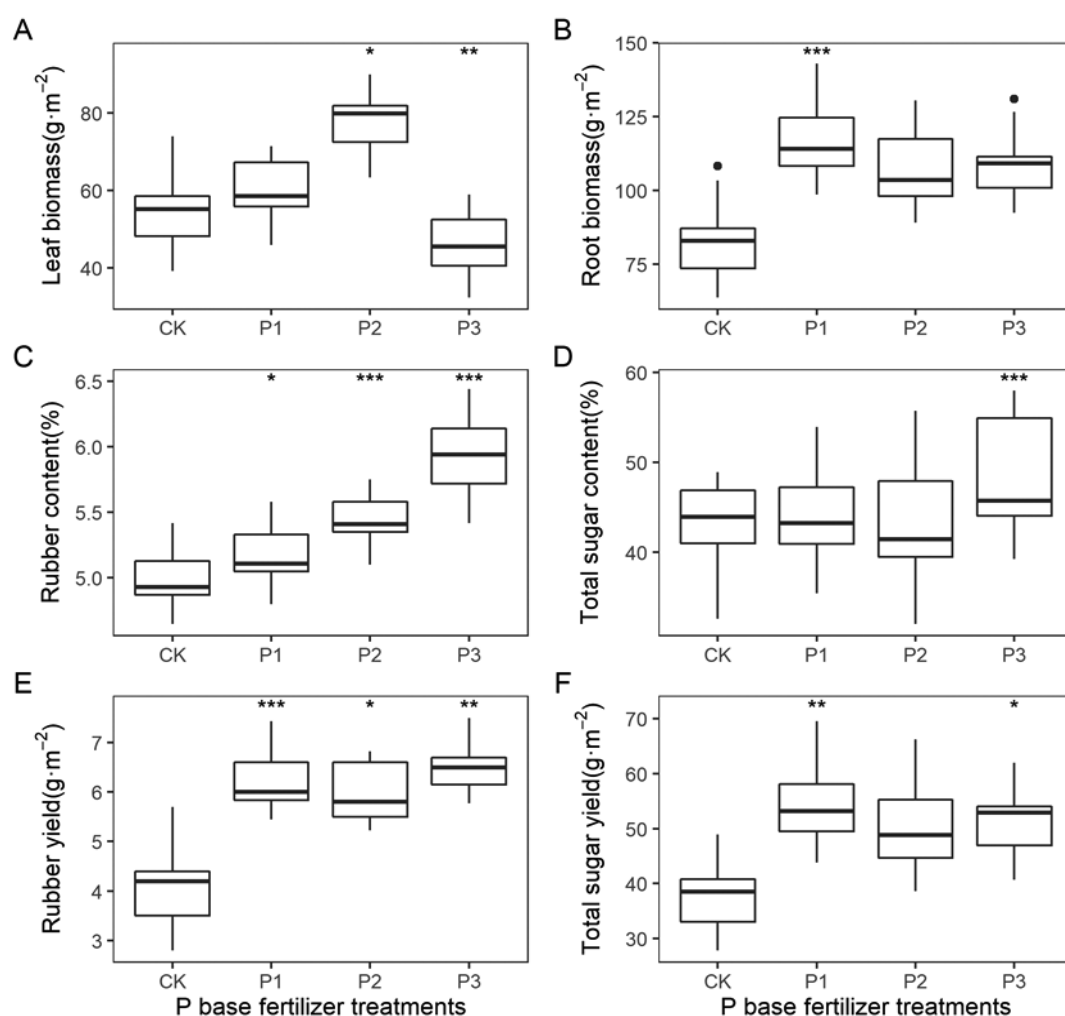


Fig. 2. Effects of phosphorus base fertilizers on leaf biomass, root biomass, rubber concentration, sugar content, rubber yield, and sugar yield of *Taraxacum kok-saghyz* Rodin (TKS)

Рис. 2. Влияние удобрения на основе фосфора на биомассу листьев, биомассу корней, концентрацию каучука, содержание сахара, выход каучука и выход сахара у кок-сагыза (*Taraxacum kok-saghyz* Rodin)

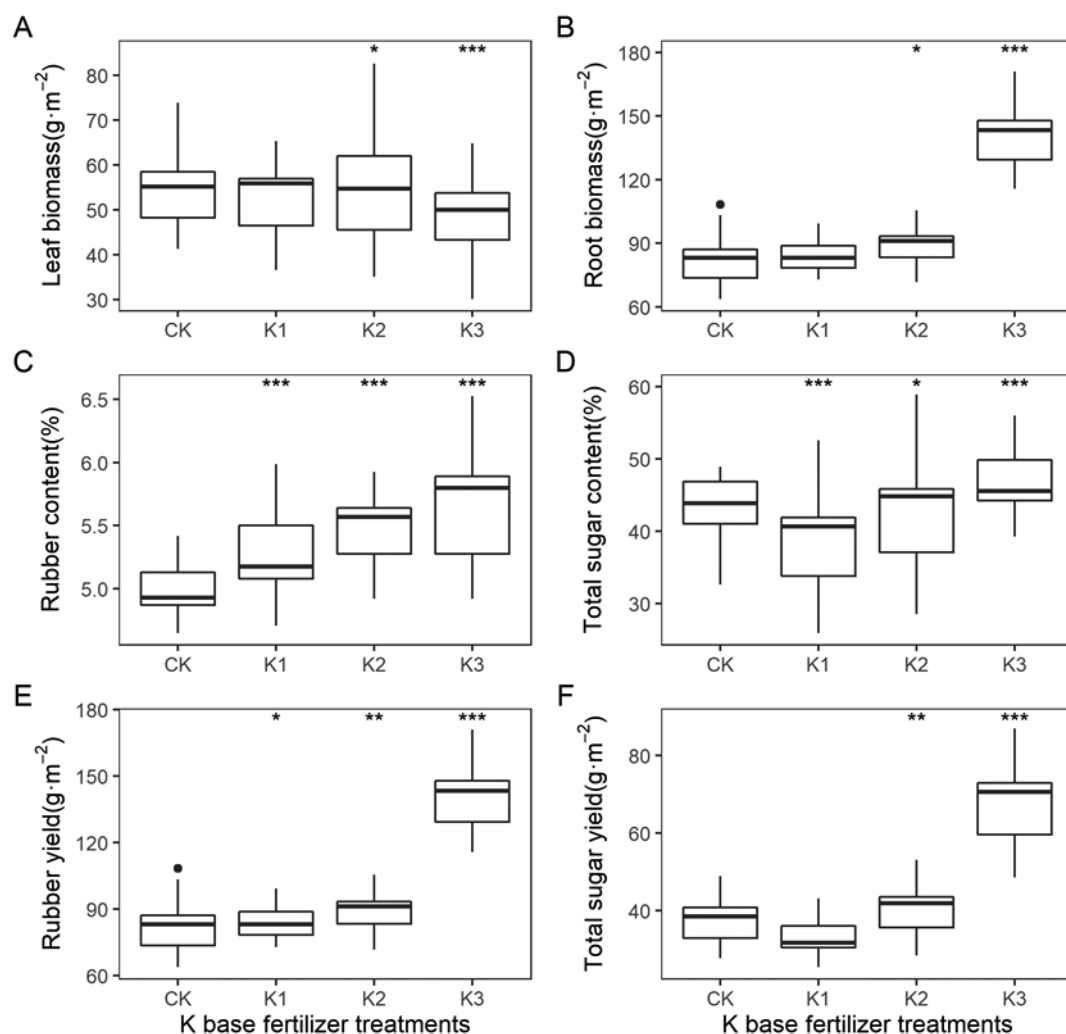


Fig. 3. Effects of potassium base fertilizers on leaf biomass, root biomass, rubber content, sugar content, rubber yield, and sugar yield of *Taraxacum kok-saghyz* Rodin (TKS)

Рис. 3. Влияние удобрения на основе калия на биомассу листьев, биомассу корней, содержание каучука, содержание сахара, выход каучука и выход сахара у кок-сагыза (*Taraxacum kok-saghyz* Rodin)

The K base fertilizer had a very significant effect on TKS rubber content ($F = 214.25$, $P = 0.001$). When the K base fertilizer increased from 0 to 35.3 g m^{-2} , the rubber content increased from 5.07% to 5.84%. K3 treatment resulted in the highest rubber content, reaching 5.84%, which was about 16% higher than CK ($F = 351.31$, $P = 0.001$) (Fig. 3, C).

The K base fertilizer had a very significant effect on the TKS total sugar content ($F = 195.73$, $P = 0.001$). When the K base fertilizer increased from 0 to 35.3 g m^{-2} , the total sugar content increased from 46.8% to 49.3%. K3 treatment led to the highest total sugar content, reaching 49.33%, which was about 5% higher than CK ($F = 309.89$, $P = 0.001$) (Fig. 3, D).

The K base fertilizer had a very significant effect on the TKS rubber yield ($F = 190.52$, $P = 0.001$). When the K base fertilizer increased from 0 to 35.3 g m^{-2} , the rubber yield increased from 4.19 g m^{-2} to 8.30 g m^{-2} . K3 treatment resulted in the highest rubber yield, reaching 8.30 g m^{-2} , about 1 time higher compared with CK ($F = 540.14$, $P = 0.001$) (Fig. 3, E). The K base fertilizer had a very significant effect on the TKS total sugar yield ($F = 200.25$, $P = 0.001$). When the K base fertilizer increased from 0 to 35.3 g m^{-2} , the total sugar yield increased from 38.7 g m^{-2} to 69.5 g m^{-2} . K3 treatment led to the highest total sugar yield, reaching 69.9 g m^{-2} , which was about 80% higher than CK ($F = 582.147$, $P = 0.001$) (Fig. 3, F).

Discussion

This study shows that under local soil conditions, appropriate N and P fertilization can promote rising of TKS leaf biomass, while the K fertilizer can reduce it. They can effectively increase TKS rubber yield and total sugar yield, which means that they are necessary for an increase of TKS yield biomass. The promoting effect of base fertilizers on TKS yield is consistent with many previous studies (Luo, 1951; Stepanov et al., 1952), while the trend analysis of rubber yield and total sugar yield in TKS biomass has not attracted attention to before. Studying the total sugar yield can improve the economic benefits of TKS and identify the suitable amount of fertilizers to maximize TKS output, which does not contradict the data we obtained (Guang, 2021). This study shows that both N3 and K3, P1 or P3 treatments can maximize the rubber yield and total sugar yield of TKS. Certainly, the use of fertilizers depends on the local conditions of the crop reproduction region (IPNI, 2012), which is also confirmed by our results. We estimated the yield response model through the response curves, which could be used to determine the optimal amount of fertilization and lay the foundation for further research. There are many reports proving the effectiveness of the use of combined fertilizers

to increase economically significant indicators (Wang et al., 2002; Yue, 2008; Cerrato, Blackmer, 1990; Bélanger et al., 2000; Valkama et al., 2011; Liu, 2012; Liang, 2017). These models are mainly based on Mitscherlich's law of diminishing returns, that is, as the crop yield gradually approaches the maximum value, the fertilizer effect gradually decreases (Ferreira et al., 2017). In this study, we found that the response of rubber yield and total sugar yield to N and P base fertilizer treatment and the response of total sugar yield to the K base fertilizer are significantly in a linear trend. And the response of rubber yield to K base fertilization relatively fits a quadratic polynomial model. The results indicate that in the range of applied fertilizer amount, the rubber yield and total sugar yield have been increasing. That is, in order to determine the optimal amount of fertilizers needed to increase the economic value of TKS, it is necessary to continue studying this problem.

A crop's nutrient requirements are affected by climate, soil, varieties, etc., which is clearly confirmed by our experiment.

The use of fertilizers makes it possible to reduce costs in the production of economically important crops (Baligar, Bennett, 1986). The base fertilizer satisfies the nutritional needs of crops throughout the growing season, especially in the early stages of development. Top-dressing fertilization is necessary during the critical period of plant development. Therefore, the efficiency of using only the base fertilizer will be relatively low. In the current experiment we studied only the impact of base fertilizers on the parameters of TKS final yield.

Conclusion

Kok-saghyz responds positively to the application of mineral fertilizers. Under the conditions of the experimental station in Harbin we recommended the following amount of base fertilizers for kok-saghyz production: 107.2 g m⁻² of urea, 43.4 g m⁻² of calcium superphosphate, and 10.5 g m⁻² of potassium chloride. To optimize the use of fertilizers and reduce costs in the production of TCS, it is necessary to study the key periods of crop growth and their corresponding nutritional requirements. This will reduce the amount of the base fertilizer and optimize the fertilizer's application time, i. e., increase the efficiency of fertilizer usage.

References / Литература

- Baligar V.C., Bennett O.L. NPK-fertilizer efficiency – a situation analysis for the tropics. *Fertilizer Research*. 1986;10(2):147-164. DOI: 10.1007/BF01074369
- Bao S. Soil agrochemical analysis. 3rd ed. Beijing: China Agricultural Press; 2000.
- Bélanger G, Walsh J.R., Richards J.E., Milburn P.H., Ziadi N. Comparison of three statistical models describing potato yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal*. 2000; 92(5):902-908. DOI: 10.2134/agronj2000.925902x
- Bruulsema T.W., Fixen P.E., Sulewski G.D. 4R plant nutrition manual: A manual for improving the management of plant nutrition. Norcross, GA: International Plant Nutrition Institute; 2012.
- Cerrato M.E., Blackmer A.M. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal*. 1990;82(1):138-143. DOI: 10.2134/agronj1990.00021962008200010030x
- Ferreira I.E.P., Zocchi S.S., Baron D. Reconciling the Mitscherlich's law of diminishing returns with Liebig's law of the minimum. Some results on crop modeling. *Mathematical Biosciences*. 2017;293:29-37. DOI: 10.1016/j.mbs.2017.08.008
- Gao J. Experimental guidance of plant physiology. Beijing: Higher Education Press; 2006.
- Kirk R.E. Experimental design: procedures for the behavioral sciences. 4th ed. Newbury Park, CA: SAGE Publications, Inc.; 2013. DOI: 10.4135/9781483384733
- Kong J, Chen J, Yue Y., Ma Q., Dong Y., Zhang J. Ultrasonic/microwave-assisted extraction and rapid quantitative determination of active ingredients in *Taraxacum kok-saghyz* Rodin by ultra-high-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry. *International Journal of Mass Spectrometry*. 2021;470:116700. DOI: 10.1016/j.ijms.2021.116700
- Liang T. Research on fertilization recommendation based on soil basic soil fertility. Chongqing: Southwest University; 2017.
- Liu G. Effects of balanced fertilization on mulberry yield and quality and establishment of fertilization model. Chongqing: Southwest University; 2012.
- Liu Y. Quantitative analysis of rubber, rubber extraction, structure and performance characterization of *Taraxacum kok-saghyz*. Beijing: Beijing University of Chemical Technology; 2016.
- Luo S. Russian dandelion. Beijing: Chinese Academy of Sciences Press; 1951.
- Meyer B.S. Effects of deficiencies of certain mineral elements on the development of *Taraxacum kok-saghyz*. *American Journal of Botany*. 1945;32(8):523-528. DOI: 10.2307/2437136
- Polhamus L.G. Rubber: botany, production and utilization. London: Leonard Hill; 1962.
- R Core Team. The R project for statistical computing. R: a language and environment for statistical computing. Vienna; 2020. Available from: <https://www.r-project.org/> [accessed May 26, 2022].
- R Studio Team. R Studio: integrated development for R. Boston. MA: RStudio, Inc.; 2015. Available from: <http://www.rstudio.com/> [accessed May 26, 2022].
- Schmidt T, Lenders M., Hillebrand A., van Deenen N., Munt O., Reichelt R. et al. Characterization of rubber particles and rubber chain elongation in *Taraxacum kok-saghyz*. *BMC Biochemistry*. 2010;11(1):11. DOI: 10.1186/1471-2091-11-11
- Shen G. Efficient propagation, field management, and cultivation mode optimization for a rubber-producing grass of Russian dandelion. Harbin: Northeast Forestry University; 2021. DOI: 10.27009/d.cnki.gdblu.2021.000022 [in Chinese]
- Shen G., Chen F., Wang W., Zheng F., Wei D., Li L. et al. Methodological study on selection of conditions for improving *Taraxacum kok-saghyz* Rodin seed germination. *Agricultural Biology*. 2019;54(3):548-556. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.3.548eng
- Shen G., Wang W., Chen F., Zheng F., Wei D., Li L. et al. Nondestructive leaf area and fresh weight estimation for *Taraxacum kok-saghyz* Rodin and their sampling number. *Agricultural Biology*. 2018;53(3):645-654. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.3.645eng
- Stepanov G.R., Praydin F.N., Axelrod D.M. et al. Cultivation method of Russian dandelion. Shenyang: Northeast Agricultural Press; 1952.
- Valkama E., Uusitalo R., Turtola E. Yield response models to phosphorus application: a research synthesis of Finnish field trials to optimize fertilizer P use of cereals. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2011;91(1):1-15. DOI: 10.1007/s10705-011-9434-4

Wang S., Chen X., Gao X., Mao D., Zhang F. Discussion on fitting of "3414" fertilizer test model. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*. 2002;(04):409-413.

Whaley W.G., Bowen J.S. Russian dandelion (kok-saghyz): an emergency source of natural rubber. Washington DC: USA Department of Agriculture; 1947,

Wickham H. ggplot2: Elegant graphics for data analysis. New York, NY: Springer-Verlag; 2016. DOI: 10.1007/978-0-387-98141-3

Yue S. Research on the establishment and application of fertilizer effect function based on "3414" field experiment. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University; 2008.

Information about the authors

Wentian Zhang, Master, Institute of Natural Resources and Ecology, Heilongjiang Academy of Sciences, No. 103, Haping Road, Xiangfang District, Harbin, Heilongjiang Province, China, swxzw@126.com, <https://orcid.org/0000-0001-6877-3518>

Fuyun Zheng, Master, Institute of Natural Resources and Ecology, Heilongjiang Academy of Sciences, No. 103, Haping Road, Xiangfang District, Harbin, Heilongjiang Province, China, zhengfuyun@163.com, <https://orcid.org/0000-0002-8966-5230>

Dianwen Wei, Master, Institute of Natural Resources and Ecology, Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin: No. 103, Haping Road, Xiangfang District, Harbin, Heilongjiang Province, China, wdwnfu@126.com, <https://orcid.org/0000-0002-8610-4921>

Guang Shen, PhD, Institute of Natural Resources and Ecology, Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin: No. 103, Haping Road, Xiangfang District, Harbin, Heilongjiang Province, China, shen19772@163.com, <https://orcid.org/0000-0001-5320-6465>

Xiangjun Zeng, Bachelor, Department of Science and Technology, Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin: No. 204, Zhongshan Street, Nangang District, Harbin, Heilongjiang Province, China, xiangjunzeng@126.com, <https://orcid.org/0000-0002-2042-9969>

Nina G. Kon'kova, 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>

Информация об авторах

Вэньтянь Чжан, магистр, Институт природных ресурсов и экологии Академии наук провинции Хэйлунцзян, Китай, провинция Хэйлунцзян, Харбин, район Сяньфан, ул. Хапин, № 103, swxzw@126.com, <https://orcid.org/0000-0001-6877-3518>

Фуьун Чжэн, магистр, Институт природных ресурсов и экологии Академии наук провинции Хэйлунцзян, Китай, провинция Хэйлунцзян, Харбин, район Сяньфан, ул. Хапин, № 103, zhengfuyun@163.com, <https://orcid.org/0000-0002-8966-5230>

Дяньвэнь Вэй, магистр, Институт природных ресурсов и экологии Академии наук провинции Хэйлунцзян, Китай, провинция Хэйлунцзян, Харбин, район Сяньфан, ул. Хапин, № 103, wdwnfu@126.com, <https://orcid.org/0000-0002-8610-4921>

Гуан Шен, доктор философии, магистр, Институт природных ресурсов и экологии Академии наук провинции Хэйлунцзян, Китай, провинция Хэйлунцзян, Харбин, район Сяньфан, ул. Хапин, № 103, shen19772@163.com, <https://orcid.org/0000-0001-5320-6465>

Сянцзюнь Цзэн, бакалавр, Департамент науки и техники, Академия наук провинции Хэйлунцзян, Китай, провинция Хэйлунцзян, Харбин, район Наньган, ул. Чжуншань, № 204, xiangjunzeng@126.com, <https://orcid.org/0000-0002-2042-9969>

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>

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The article was submitted on 13.09.2022; approved after reviewing on 28.11.2022; accepted for publication on 02.03.2023. Статья поступила в редакцию 13.09.2022; одобрена после рецензирования 28.11.2022; принята к публикации 02.03.2023.

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 633.16:663.421

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-79-89



Оценка исходного материала для селекции ячменя пивоваренного направления

О. А. Юсова¹, П. Н. Николаев¹, М. А. Кузьмич², Л. С. Кузьмич²

¹ Омский аграрный научный центр, Омск, Россия

² Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Московская область, Россия

Автор, ответственный за переписку: Оксана Александровна Юсова, yusova@anc55.ru

Актуальность. Цель исследований – выделить перспективные генотипы ячменя пивоваренного направления из исходного материала селекции Омского аграрного научного центра.

Материал и методы. Исследования проведены с 2017 по 2020 г. в южной лесостепи Западной Сибири. Объект исследований – 13 линий: Саша × Гетьман (2 линии); Саша × Margret; Подарок Сибири × Гетьман (3 линии); Омский 95 × Беатрис (3 линии); Омский 95 × Деспина; Омский 95 × Viva; Омский 100 × Margret; Омский 90 × Margret. Биохимическая оценка зерна на пивоваренные качества проведена совместно с Федеральным исследовательским центром «Немчиновка» по ГОСТ 5060-86 (Ячмень пивоваренный. Технические условия).

Результаты и обсуждение. Наиболее перспективными являются линии, характеризующиеся повышенной урожайностью (5,39–6,21 т/га) и пониженной массовой долей белка (11,39–11,92%): Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 90 × Margret, Омский 95 × Беатрис (2), Омский 95 × Беатрис (3), Омский 95 × Деспина. Также данные линии обладают комплексом следующих пивоваренных признаков: выравненность зерна (98,7–99,95); пленчатость зерна: (9,3–9,9%), масса 1000 зерен (55,6–57,0 г), экстрактивность зерна (78,1 и 78,9%), массовая доля крахмала (55,35–56,83%), цветность (0,15–0,30 ед. ЕВС), стекловидность солода (0,0–3,0%).

Заключение. Для дальнейших исследований рекомендуются линии Саша × Гетьман (1) и (2), Омский 90 × Margret, Омский 95 × Беатрис (2) и (3), Омский 95 × Деспина.

Ключевые слова: генотип, линии ячменя, пивоваренные качества, урожайность

Благодарности: работа выполнена в рамках тематики № FNUN-0222-0026 «Создание новых сортов пшеницы (озимой, яровой мягкой и твердой), зернобобовых культур (горох и соя), зернофуражных (ячмень, овес) и многолетних трав (люцерна, костреч безостый) с улучшенными показателями продуктивности и качества, повышенной устойчивостью к болезням, к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам среды».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Юсова О.А., Николаев П.Н., Кузьмич М.А., Кузьмич Л.С. Оценка исходного материала для селекции ячменя пивоваренного направления. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):79-89. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-79-89

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-79-89

Assessment of source material for malting barley breeding

Oksana A. Yusova¹, Petr N. Nikolaev¹, Mikhail A. Kuzmich², Lyudmila S. Kuzmich²¹ Omsk Agricultural Scientific Center, Omsk, Russia² Nemchinovka Federal Research Center, Moscow Province, RussiaCorresponding author: Oksana A. Yusova, yusova@anc55.ru

Background. The objective of the research was to identify promising genotypes of malting barley in the source material developed at Omsk Agricultural Scientific Center.

Material and methods. The studies were carried out from 2017 to 2020. in the southern forest-steppe of Western Siberia. The target material included 13 lines: Sasha × Getman (2 lines), Sasha × Margret, Podarok Sibiri × Getman (3 lines), Omsky 95 × Beatrice (3 lines), Omsky 95 × Despina, Omsky 95 × Viva, Omsky 100 × Margret, and Omsky 90 × Margret. Biochemical assessment of grain quality for brewing qualities was carried out jointly with Nemchinovka Federal Research Center according to GOST 5060-86 (Barley for brewing. Specifications).

Results and discussion. The most promising were the lines demonstrating increased yield (5.39–6.21 t/ha) and reduced mass fraction of protein (11.39–11.92%): Sasha × Getman (1), Sasha × Getman (2), Omsky 90 × Margret, Omsky 95 × Beatrice (2), Omsky 95 × Beatrice (3), and Omsky 95 × Despina. Besides, these lines had a set of the following brewing characteristics: grain evenness (98.7–99.95); grain filminess (9.3–9.9%), 1000 grain weight (55.6–57.0 g), grain extractivity (78.1 and 78.9%), mass fraction of starch (55.35–56.83%), color (0.15–0.30 EBC units), and malt vitreousness (0.0–3.0%).

Conclusion. The lines Sasha × Getman (1) and (2), Omsky 90 × Margret, Omsky 95 × Beatrice (2) and (3), Omsky 95 × Despina are recommended for further research.

Keywords: genotype, barley lines, brewing qualities, yield

Acknowledgements: the work was carried out as part of the implementation of Theme No. FNUN-0222-0026 “Development of new cultivars of wheat (winter, spring bread, and durum), leguminous crops (pea and soybean), grain fodder (barley, and oat) and perennial grasses (alfalfa, and awnless brome) with improved indicators of productivity and quality, and increased resistance to diseases and unfavorable biotic and abiotic environmental factors”.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Yusova O.A., Nikolaev P.N., Kuzmich M.A., Kuzmich L.S. Assessment of source material for malting barley breeding. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):79-89. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-79-89

Введение

Несмотря на достаточное количество сортов ячменя отечественной селекции (более 100), на сегодняшний день производство пивоваренного сырья не отвечает запросам производства (потребность в сырье составляет около двух млн т). Усугубляется данная ситуация дальнейшим повышением спроса на зерно ячменя для пивоварения, что восполняется импортным сырьем (Yeroshenko et al., 2015; Kobelev et al., 2015) и создает определенную зависимость отечественного производства от импорта. Преимущество иностранных сортов перед отечественными в основном определяет стабильно пониженное содержание в зерне белка и более краткий период солодоращения.

Отсутствие в течение продолжительного периода времени государственного сортообновления и сортосмены отечественных пивоваренных сортов привело к тому, что возделывание в РФ сортов пивоваренного ячменя иностранной селекции возрастает (Yeroshenko et al., 2015; Kobelev et al., 2015). По данным Россельхозцентра, доля зарубежного семенного материала составляет около 90%.

В Российской Федерации основное производство пивоваренного ячменя сконцентрировано в Центрально-Черноземной зоне и на юге Сибири. В последние годы отмечено его продвижение на север – в Ленинградскую и Ярославскую области (Ponomareva, Zakharova, 2015).

Одним из факторов, оказывающих непосредственное влияние на урожайность и формирование качественных показателей зерна ячменя, являются изменяющиеся климатические условия (Morcia et al., 2016; Nogueira et al., 2018). Основное влияние на получение качественной продукции оказывают агротехнологии и применение в производстве новых адаптивных сортов (Yeroshenko et al., 2015; Oganesyants et al., 2019), что обуславливает непрерывный анализ данных факторов.

В Омском регионе наиболее благоприятные гидро-термические условия для получения зерна необходимого качества складываются в зоне подтайги и тайги – вероятность получения зерна в соответствии с ГОСТ 5060-86 (ГОСТ 5060-86..., 2019) составляет 80%. В северной лесостепи такая вероятность составляет 60–70%, в южной лесостепи – 50–60%, в степной зоне – 50–30% (Maksimov, 2004).

Итогом многолетней селекционной работы ФГБНУ «Омский АНЦ» являются пивоваренные сорта ячменя, внесенные в Госреестр РФ («Омский 90» и «Омский 100»); находится на ГСИ новый перспективный сорт «Омский 102».

Цель исследований – выделить перспективные генотипы ячменя пивоваренного направления из исходного материала селекции Омского АНЦ.

Материал и методы

Представлены материалы исследований с 2017 по 2020 г., проведенные на опытных полях ФГБНУ «Омский АНЦ» (южная лесостепь Западной Сибири) по общепринятой методике (Loskutov et al., 2012) с последующей тематической обработкой (Dospekhov, 1985).

Почва представлена черноземом луговым среднесильно-тяжелосуглинистым. Содержание гумуса (по Тюрину) варьировало от 5,90 до 7,00%, подвижного фосфора – 90–120 мг/кг (по Кирсанову); обменного калия – 240–320 мг/кг почвы (по Масловой), нитратного

азота (по Кочергину) – 6,0 мг/кг, сумма поглощенных оснований – 40,0 мг-экв./100 г почвы, pH_{KCl} почвенного раствора – 6,3–6,6 ед. В составе катионов преобладает кальций (90,0%), на магний приходится 9,5% от общей емкости поглощения, натрия – менее 0,5%.

Климатические условия Западно-Сибирской равнины обусловлены переходом континентального климата на западе в резко континентальный на востоке. Периоды исследований с 2017 по 2020 г. характеризовались контрастными условиями, что подтверждает перечисленные выше общие тенденции. Так, засушливые условия наблюдались в 2017 и 2020 г. (ГТК = 0,68 и 0,60). Оптимальные по влагообеспеченности – 2018 и 2019 г. (ГТК = 1,06 и 1,39). Май и июнь за исследуемый период (2017–2020 гг.) характеризовались либо увлажнением на уровне нормы (+3,8 мм к среднесезонным данным), либо значительным переувлажнением (+65,5 мм). Аналогичная тенденция наблюдалась в последующие месяцы, за исключением июля 2020 г. (13,5 мм осадков, что составило 64,5% к норме) и августа 2017 г. (14 мм; 87,5% к норме). На этом фоне отмечен недостаток тепла в мае и августе с 2017 по 2019 г. (–0,2...–5,8°C к среднесезонным), июне 2018–2020 гг. (–2,1...–3,8°C к среднесезонным), июле 2017 и 2019 г. (–1,0...–6,9°C к норме).

Объект исследований – 13 линий:

- Саша × Гетьман (2 линии);
- Саша × Margret;
- Подарок Сибири × Гетьман (3 линии);
- Омский 95 × Беатрис (3 линии);
- Омский 95 × Деспина;
- Омский 95 × Viva;
- Омский 100 × Margret;
- Омский 90 × Margret.

Родительскими сортами являются сорта селекции Омского АНЦ («Омский 90», «Омский 95», «Омский 100», «Саша», «Подарок Сибири»), инорайонные («Гетьман» – Северо-Кавказский ФНАЦ) и зарубежные («Margret» – оригинал Saaten-Union GMBH, «Беатрис» – Nordsaat Saat-zucht GMBH, «Деспина» – Nordsaat Saat-zucht GMBH).

Перечисленные линии получены в результате гибридизации в 2011 г. В статье представлены результаты исследования данных линий поколений F_6 – F_8 .

Ниже представлена характеристика родительских сортов, рекомендованных к возделыванию в Уральском (9) и Западно-Сибирском (10) регионах. Сорта селекции Омского АНЦ являются источниками адаптивности к резко континентальным местным условиям.

– «Саша»: характеризуется высокой потенциальной продуктивностью, засухоустойчив, слабо восприимчив к черной и каменной головне.

– «Подарок Сибири»: не был включен в Госреестр РФ, но используется в селекционном процессе в качестве источника адаптивности.

– «Омский 95»: высокая потенциальная продуктивность и качество зерна, устойчивость к полеганию и за-сухе. Сорт слабо восприимчив к каменной и черной головне.

– «Омский 100»: сорт среднеспелый, высокоустойчив к полеганию, характеризуется слабой восприимчивостью к черной головне, высокой потенциальной продуктивностью и качеством зерна.

– «Омский 90»: способен формировать пивоваренное зерно в условиях Западной Сибири, отличается высокой и стабильной урожайностью. Выступал в исследованиях в качестве стандартного сорта.

В качестве отцовских сортов в схемы скрещивания включены перечисленные ниже сорта инорайонной и иностранной селекции.

– ‘Гетьман’: (оригинатор ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ) среднеспелый, устойчив, средне засухоустойчив. Пивоваренный и ценный по качеству. Устойчив к твердой головне, восприимчив к гельминтоспориозу, сильно восприимчив к пыльной головне. Включен в Госреестр по Северо-Кавказскому (6) региону.

– ‘Margret’: (оригинатор Saaten-UnionGMBH) среднеспелый, устойчив к полеганию, засухоустойчивость на уровне стандартов. Пивоваренный. Умеренно устойчив к твердой головне; восприимчив к пыльной головне, гельминтоспориозу, корневым гнилям. Включен в Госреестр по Центральному (3) и Центрально-Черноземному (5) регионам. Рекомендован для возделывания в Московской области.

– ‘Беатрис’: (оригинатор Nordsaat Saatzucht GMBH) среднеспелый, устойчив к полеганию, засухоустойчивость на уровне или несколько ниже стандартов. Пивоваренный. Восприимчив к пыльной головне и гельминтоспориозу. Включен в Госреестр по Центральному (3) и Центрально-Черноземному (5) регионам. Рекомендован для возделывания в Белгородской, Курской и Липецкой областях.

– ‘Деспина’: (оригинатор Nordsaat Saatzucht GMBH) среднеспелый, устойчив к полеганию, среднесухоустойчив. Содержание белка 9,5–12,3%. Умеренно восприимчив к пыльной головне; сильно восприимчив к гельминтоспориозу. Включен в Госреестр по Волго-Вятскому (4) региону. Рекомендован для возделывания в Нижегородской области.

– ‘Viva’: получен в качестве пивоваренного коллекционного образца из ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР).

Биохимическая оценка качества зерна проведена совместно с Федеральным исследовательским центром «Немчиновка». Оценка образцов ячменя на пивоваренные качества проведена в соответствии с требованиями ГОСТ 5060-86 (ГОСТ 5060-86..., 2019) по следующим признакам: выравненность, пленчатость, стекловидность, способность и энергия прорастания, масса 1000 зерен, экстрактивность, массовые доли белка и крахмала, время осахаривания, кислотность, цветность.

Результаты и обсуждение

Выравненность солода показывает пригодность зерна к процессам дробления и затирания, а также выходу экстракта. При сходе с сит (с размером отверстий 2,8 на 2,5 мм) не менее 85% зерен солод определяется как высококачественный.

Согласно данным наших исследований, все исследуемые образцы отличались высокой выравненностью солода (от 92,9 до 99,9%) при незначительной изменчивости ($CV = 2,6\%$), таблица 1. Максимальное значение данного признака отмечено у линии Саша × Гетьман (2) и Подарок Сибири × Гетьман (1) (99,9 и 99,6%), что на уровне стандарта.

Пленчатость не регламентируется ГОСТом, но проходит контроль на промышленных предприятиях как «мякинная оболочка» и должна составлять около 9% (Khokonova, 2015) с отклонениями в зависимости от года от 8 до 10% (Cai et al., 2016). Ячмень при пленчатости ниже указанного предела считается тонкоплен-

чатым (применяется для производства светлых сортов пива), выше – грубопленчатым (применяется для производства темных сортов пива) (ГОСТ 5060-86..., 2019).

Пленчатость является сортовым признаком, но также изменяется в зависимости от почвенно-климатических и агротехнических условий выращивания (Cai et al., 2016). В среднем по опыту пленчатость зерна ячменя составила 9,1%, при незначительном варьировании ($CV < 10\%$). Минимальная пленчатость отмечена у стандартного сорта ‘Омский 90’ и линии Омский 90 × Margret (8,4%), максимальная – Саша × Margret (1) и Омский 95 × Беатрис (2) (9,9%). Все исследуемые линии соответствовали требованиям ГОСТ по данному признаку.

Стекловидность зерна ячменя обуславливается повышенной массовой долей белка либо цементации крахмальных зерен (что нивелируется при солодоращении). Нормы допустимой стекловидности не установлены. В нашем опыте среднегрупповая стекловидность составила 36,7%, изменяясь от 27,0% у линии Подарок Сибири × Гетьман (2) до 50% – у линии Омский 90 × Margret. Изменчивость признака средняя ($CV = 18,7\%$).

Энергия прорастания (45 суток после уборки), в среднем по опыту, составила 97,2%, при незначительной изменчивости ($CV < 10\%$). Минимальное значение данного показателя отмечено у линии Омский 100 × Margret (94,6%, что на уровне стандарта) максимальное (99,0%) – Омский 95 × Беатрис (3).

Среднее значение способности прорастания составило 92,4% (Lim. = 87,4–96,0%) (см. табл. 1). Для зерна, поставляемого не ранее чем через 45 суток после его уборки, показатель данного признака 95% соответствует ячменю 1-го класса; 90% – 2-го класса. Таким образом, к 1-му классу относится зерно стандарта ‘Омский 90’ и линии Омский 95 × Беатрис (3). Повышенные значения данного показателя означают готовность зерна для переработки в солод. Разница между энергией и способностью прорастания, превышающая 2%, означает нарушение процессов соложения. В наших исследованиях линия Омский 90 × Margret соответствовал требуемым параметрам (94,6 и 96,6% способность и энергия прорастания соответственно).

Еще одним фактором благоприятного соложения является крупность зерна (Khokonova, 2015; Neugschwandtner et al., 2019). Масса 1000 зерен пивоваренного ячменя должна составлять более 40 г, чему соответствовали все исследуемые образцы (49,8–57,8 г), при максимальном значении у стандарта (57,8%) и линии Омский 95 × Деспина (57,0%).

В таблице 2 представлен качественный, а также цитолитический анализ растворимости солода. Цитолиз – это процесс растворения клеточных стенок, который оказывает непосредственное влияние на прохождение технологических процессов и качество готового продукта.

Основным показателем высоких пивоваренных качеств зерна ячменя, является экстрактивность (которая, в свою очередь, зависит главным образом от количества крахмала) (Khokonova, 2015) и должна составлять не менее 75–78%. Данному условию соответствуют все исследуемые линии (при незначительной изменчивости $CV = 0,9\%$), при максимальном значении экстрактивности (80,4%) у линии Саша × Гетьман (2), Саша × Margret (2), Омский 95 × Беатрис (2), что превышает стандарт (78,0%).

Массовая доля белка для пивоваренного ячменя не должна превышать 12%, иначе переработка зерна в со-

Таблица 1. Физиологические показатели зерна ячменя, в среднем за 2017–2020 гг., южная лесостепь Западной Сибири
Table 1. Physiological indicators of barley grain on average for 2017–2020, southern forest-steppe of Western Siberia

Генотип / Genotype	Выравненность, % / Grain evenness, %	Пленчатость зерна, % / Grain filminess, %	Стекловидность, % / Vitreousness, %	Способность прорастания, % / Germination ability, %	Энергия прорастания, % / Germination energy, %	Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g
Омский 90 / Omsky 90, St	99,9	8,3	32,8	95,2	98,7	57,8
Саша × Гетьман (1) / Sasha × Getman (1)	99,7	9,3	35,0	91,4	95,8	55,6
Саша × Гетьман (2) / Sasha × Getman (2)	99,9	9,7	33,0	93,6	97,6	53,8
Саша × Margret (1) / Sasha × Margret (1)	96,0	9,9	37,0	90,0	96,4	54,8
Саша × Margret (2) / Sasha × Margret (2)	92,9	9,2	30,0	91,8	96,4	54,6
Омский 95 × Viva / Omsky 95 × Viva	95,0	8,7	47,0	92,6	98,8	54,0
Омский 90 × Margret / Omsky 90 × Margret	98,1	8,4	50,0	94,6	96,6	55,6
Подарок Сибири × Гетьман (1) / Podarok Sibiri × Getman (1)	99,6	9,0	28,0	87,4	97,8	55,6
Подарок Сибири × Гетьман (2) / Podarok Sibiri × Getman (2)	92,9	8,5	27,0	92,2	98,6	50,2
Подарок Сибири × Гетьман (3) / Podarok Sibiri × Getman (3)	99,0	9,6	40,0	92,2	97,0	55,0

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

Генотип / Genotype	Выравненность, % / Grain evenness, %	Пленчатость зерна, % / Grain filminess, %	Стекловидность, % / Vitreousness, %	Способность прорастания, % / Germination ability, %	Энергия прорастания, % / Germination energy, %	Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g
Омский 100 × Margret / Omsky 100 × Margret	99,0	9,2	45,0	90,0	94,6	55,2
Омский 95 × Беатрис (1) / Omsky 95 × Beatrice (1)	98,6	8,8	30,0	94,0	97,2	51,6
Омский 95 × Беатрис (2) / Omsky 95 × Beatrice (2)	94,5	9,9	29,0	93,2	98,2	52,2
Омский 95 × Беатрис (3) / Omsky 95 × Beatrice (3)	98,7	9,6	44,0	96,0	99,0	49,8
Омский 95 × Деспина / Omsky 95 × Despina	98,9	8,5	43,0	91,8	95,8	57,0
$\bar{X}$ по признаку / mean by feature	97,5	9,1	36,7	92,4	97,2	54,2
max	99,9	9,9	50,0	96,0	99,0	57,8
min	92,9	8,3	27,0	87,4	94,6	49,8
CV, %	2,6	5,8	18,7	2,3	1,3	4,0
$S_{\bar{X}}$	0,7	0,2	1,9	0,6	0,3	0,6

Таблица 2. Качественные и урожайные показатели, цитолитическая растворимость солода, в среднем за 2017–2020 гг., южная лесостепь Западной Сибири
Table 2. Qualitative and yield indicators, and cytolytic malt solubility on average for 2017–2020, southern forest-steppe of Western Siberia

Генотип / Genotype	Экстрактивность, % / Extractivity, %				Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	Массовая доля крахмала, % / Mass fraction of starch, %	Осахаривание, мин / Saccharification, min	Кислотность, мл 1 н NaOH/100 г суха / Acidity, ml 1 n NaOH/100 g wort	Цветность, ед. EBC / Color, European Brewery Convention units	Стекловидность солода, % / Malt vitreousness, %	Урожайность, т/га / Yield, t/ha
	цельное зерно / whole grain	зерно грубого помола / coarsely ground grain	зерно тонкого помола / finely ground grain	разность экстракта тонкого и грубого помола / extract difference between fine and coarse grinding							
Омский 90 / Omsky 90, St	78,0	73,5	76,3	2,8	14,53	53,60	15,9	1,5	0,49	3,5	6,50
Саша × Гетьман (1) / Sasha × Getman (1)	80,4	78,5	80,3	1,8	11,92	55,35	15,0	1,4	0,30	2,0	5,31
Саша × Гетьман (2) / Sasha × Getman (2)	78,1	74,6	77,6	3,0	11,92	56,16	10,0	1,1	0,19	3,0	5,99
Саша × Margret (1) / Sasha × Margret (1)	79,5	74,6	78,6	4,0	14,16	55,11	15,0	1,1	0,24	0,0	5,26
Саша × Margret (2) / Sasha × Margret (2)	77,9	77,2	77,0	-0,2	12,44	56,17	15,0	1,2	0,30	4,0	5,40
Омский 95 × Viva / Omsky 95 × Viva	78,9	73,0	78,3	5,3	12,44	55,19	15,0	1,0	0,24	2,0	5,97
Омский 90 × Margret / Omsky 90 × Margret	80,0	76,9	79,8	3,0	11,58	57,82	10,0	1,3	0,43	0,0	5,39
Подарок Сибири × Гетьман (1) / Podarok Sibiri × Getman (1)	79,5	73,6	77,8	4,2	12,95	57,16	15,0	1,0	0,12	1,0	6,48
Подарок Сибири × Гетьман (2) / Podarok Sibiri × Getman (2)	79,5	77,3	79,1	1,8	14,02	56,18	20,0	1,3	0,30	0,0	6,21
Подарок Сибири × Гетьман (3) / Podarok Sibiri × Getman (3)	78,9	75,2	78,2	3,0	13,48	54,86	15,0	1,2	0,27	4,0	5,38

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Генотип / Genotype	Экстрактивность, % / Extractivity, %				Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	Массовая доля крахмала, % / Mass fraction of starch, %	Осахаривание, мин / Saccharification, min	Кислотность, мл 1 н NaOH/100 г сусла / Acidity, ml 1 n NaOH/100 g wort	Цветность, ед. EBC / Color, European Brewery Convention units	Стекловидность солода, % / Malt vitreousness, %	Урожайность, т/га / Yield, t/ha
	цельное зерно / whole grain	зерно грубого помола / coarsely ground grain	зерно тонкого помола / finely ground grain	разность экстракта тонкого и грубого помола / extract difference between fine and coarse grinding							
Омский 100 × Margret / Omsky 100 × Margret	78,9	75,1	78,9	3,8	12,56	53,55	15,0	1,2	0,19	1,0	5,99
Омский 95 × Беатрис (1) / Omsky 95 × Beatrice (1)	78,7	78,6	78,5	-0,1	12,07	56,83	10,0	1,4	0,46	0,0	5,86
Омский 95 × Беатрис (2) / Omsky 95 × Beatrice (2)	77,9	77,5	79,4	1,9	11,43	56,50	10,0	1,3	0,61	2,0	5,71
Омский 95 × Беатрис (3) / Omsky 95 × Beatrice (3)	78,9	73,9	79,4	5,5	11,80	54,86	15,0	0,9	0,15	2,0	5,79
Омский 95 × Деспина / Omsky 95 × Despina	79,5	77,7	80,6	2,9	11,39	56,83	10,0	1,0	0,24	0,0	6,21
$\bar{x}$ по признаку / mean by feature	79,0	75,8	78,7	2,9	12,58	55,74	13,7	1,2	0,30	1,6	5,83
max	80,4	78,6	80,6	5,5	14,53	57,82	20,0	1,5	0,61	4,0	6,50
min	77,9	73,0	76,3	-0,2	11,39	53,55	10,0	0,9	0,12	0,0	5,26
CV, %	0,9	2,5	1,3	30,2	7,0	2,0	22,5	11,7	25,9	26,9	6,7
$S_{\bar{x}}$	0,2	0,5	0,3	0,5	0,23	0,30	0,8	0,2	0,04	0,4	0,10

лод значительно затрудняется. В нашем опыте пониженное содержание белка имели линии Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 95 × Беатрис (2), Омский 95 × Беатрис (3), Омский 95 × Деспина, Омский 90 × Margret (11,39–11,92%), что значительно ниже показателей стандарта (14,53%).

Стекловидность солода в пределах 2–3% наблюдается у высококачественного солода. Стандартный сорт 'Омский 90' характеризуется повышенным значением данного показателя (3,5%). Отсутствие стекловидности солода (0%) отмечено у линий Саша × Margret (1), Омский 90 × Margret, Подарок Сибири × Гетьман (2) и Омский 95 × Деспина. Пониженное значение данного признака (1–3%) отмечено у линий Саша × Гетьман (2), Омский 95 × Viva, Саша × Гетьман (1), Подарок Сибири × Гетьман (1), Омский 100 × Margret, Омский 95 × Беатрис (2) и Омский 95 × Беатрис (3).

Основная масса углеводов зерна ячменя представлена крахмалом, который превращается в сбраживаемый экстракт (декстрин) (Khokonova, 2016). Повышенное содержание крахмала увеличивает пивоваренную ценность ячменя. Литературные источники по-разному регламентируют содержание крахмала в зерне пивоваренного ячменя: от 60–70% (Khokonova, 2015) до 73–82% (Yeroshenko et al., 2015). Общепринятыми нормами массовой доли крахмала является интервал от 50 до 60%. В нашем опыте массовая доля крахмала изменялась от 53,55% (Омский 100 × Margret) до 57,82% (Омский 90 × Margret).

Для солода высшего качества кислотность должна составлять 0,9–1,1 мл 1н NaOH/100 г сусла. Данному требованию соответствуют линии Омский 95 × Viva и Саша × Гетьман (2), Подарок Сибири × Гетьман (1), Омский 95 × Беатрис (3), Омский 95 × Деспина. Максимальная кислотность (1,5 мл 1н NaOH/100 г сусла) наблюдалась у стандарта.

Прозрачность сусла (его мутность) определяют с помощью детектора (под углом 90°). Единица цвета ЕВС (ед. ЕВС) – это условная единица цвета пива, принятая Европейской конвенцией (European Brewery Convention) и рассчитывается на основе измерения оптической плотности пива. ЕВС не должно превышать 3 ед. В нашем опыте все исследуемые линии соответствуют данному показателю (0,12–0,61 ЕВС).

Время осахаривания зависит от способности солода к растворению и от активности амилолитических ферментов. Время осахаривания 10–15 минут означает солод высокого качества. Результаты нашего исследования показали, что минимальным временем осахаривания (10 мин) обладают линии Омский 90 × Margret, Саша × Гетьман (2), Омский 95 × Беатрис (1), Омский 95 × Беатрис (2) и Омский 95 × Деспина. Осахаривание в течение 15 минут характерно для линии Подарок Сибири × Гетьман (3), Омский 100 × Margret, Саша × Margret (2), Подарок Сибири × Гетьман (1), Саша × Гетьман (1), Саша × Margret (1), Омский 95 × Viva и Омский 95 × Беатрис (3), что значительно ниже данных стандартного сорта (15,9 мин).

Разность массовых долей экстрактов тонкого и грубого помола указывает на степень растворения солода. Нормально растворенный солод имеет значение от 1,2 до 1,8%. Соответствуют данному требованию линии Подарок Сибири × Гетман (2) и Омский 95 × Беатрис (2), что составляет –1,1 и –1,2% к стандарту соответственно.

Урожайность является интегральным признаком, который определяет эффективность использования в производстве того или иного сорта (Beccari et al., 2017;

Churyukin, Geras'kin, 2017; Yusova et al., 2020a) и оказывает прямое влияние на формирование показателей качества зерна (Yusova et al., 2020b). Средняя по опыту урожайность составила 5,83 т/га (Lim. = 5,26–6,50 т/га), при незначительной изменчивости (CV = 6,7%).

Повышенной урожайностью (на уровне стандарта) характеризуются линии Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 90 × Margret, Омский 95 × Беатрис (2), Омский 95 × Беатрис (3), Омский 95 × Деспина (5,39–6,21 т/га).

Проведенные исследования позволяют говорить о том, что стандартный сорт 'Омский 90', в силу особенностей отечественной селекции, характеризуется максимальной урожайностью и повышенными значениями физиологических показателей зерна на фоне низких показателей качества зерна и цитолитической растворимости солода. Данный факт является еще одним объяснением широкого использования в пивоваренной промышленности сортов иностранной селекции.

Линии, приведенные в данном исследовании, в качестве материнских форм имеют сорта селекции Омского АНЦ, что благоприятно сказалось на формировании урожайности данных линий и их общей адаптивности к местным условиям. Сорта иностранной селекции (отцовские формы) послужили для полученных линий источниками качества зерна и цитолитической растворимости солода, которые отвечают требованиям пивоваренной промышленности.

Между тем, все линии обладают различным набором пивоваренных показателей. Выделить линии, которые соответствовали бы ГОСТ 5060-86 (ГОСТ 5060-86..., 2019) по всем описанным выше признакам не представляется возможным.

Заключение

Таким образом, для дальнейших исследований выделяются линии ячменя пивоваренного направления, характеризующиеся повышенной урожайностью (5,39–6,21 т/га) и пониженной массовой долей белка (11,39–11,92%): Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 90 × Margret, Омский 95 × Беатрис (2), Омский 95 × Беатрис (3), Омский 95 × Деспина.

Также, перечисленные линии характеризуются комплексом следующих пивоваренных признаков:

- выравненность зерна: Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 95 × Беатрис (3), Омский 95 × Деспина (98,7–99,95);
- пленчатость зерна: Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 90 × Margret, Омский 95 × Беатрис (2), Омский 95 × Беатрис (3) (9,3–9,9%);
- масса 1000 зерен: Омский 95 × Деспина (57,0 г), Саша × Гетьман (1) и Омский 90 × Margret (55,6 г);
- экстрактивность зерна: Саша × Гетьман (1), Омский 95 × Беатрис (3) (79,5 и 80,4%); Саша × Гетьман (2), Омский 95 × Беатрис (3) (78,1 и 78,9%);
- массовая доля крахмала: Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 90 × Margret, Омский 95 × Беатрис (3), Омский 95 × Деспина (55,35–56,83%);
- цветность: Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 90 × Margret, Омский 95 × Беатрис (3), Омский 95 × Деспина (0,15–0,30 ед. ЕВС);
- стекловидность солода: Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 95 × Беатрис (2), Омский 95 × Беатрис (3) (2,0–3,0%); Омский 90 × Margret и Омский 95 × Деспина (0,0%).

References / Литература

- Beccari G., Tini F., Bonciarelli U., Onofri A., Queslati S., Limayma M. et al. Changes in the *Fusarium* head blight complex of malting barley in a three-year field experiment in Italy. *Toxins*. 2017;9(4):120. DOI: 10.3390/toxins9040120
- Cai G., Li X., Zhang C., Lu J., Zhang M. Dextrin as the main turbidity components in wort produced from major malting barley cultivars of Jiangsu province in China. *Journal of the Institute of Brewing*. 2016;122(3):543-546. DOI: 10.1002/jib.356
- Churyukin R.S., Geras'kin S.A. Hormesis in barley (*Hordeum vulgare* L.) plants derived from γ -irradiated seeds under contrasting weather conditions. *Agricultural Biology*. 2017;52(4):820-829. [in Russian] (Чурюкин Р.С., Гераськин С.А. Проявление эффекта гормезиса у растений ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в контрастных условиях произрастания при γ -облучении семян. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(4):820-829). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.820rus
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспихов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- GOST 5060-86. Interstate standard. Barley for brewing. Specifications. Moscow: Standartinform; 2010. [in Russian] (ГОСТ 5060-86. Межгосударственный стандарт. Ячмень пивоваренный. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2010). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023680> [дата обращения: 15.12.2022].
- Khokonova M.B. Improving the methods of barley cultivation for brewing production (Sovershenstvovaniye priyemov vozdel'yvaniya yachmenya dlya pivovarennogo proizvodstva). *Innovatsionnaya nauka = Innovative Science*. 2016;(8-3):42-44. [in Russian] (Хоконова М.Б. Совершенствование приемов возделывания ячменя для пивоваренного производства. *Инновационная наука*. 2016;(8-3):42-44).
- Khokonova M.B. Influence of the method of barley harvesting on the yield and brewing qualities of grain (Vliyaniye sposoba uborki yachmenya na urozhaynost i pivovarennyye kachestva zerna). *Innovatsionnaya nauka = Innovative Science*. 2015;8-2(8):86-89. [in Russian] (Хоконова М.Б. Влияние способа уборки ячменя на урожайность и пивоваренные качества зерна. *Инновационная наука*. 2015;8-2(8):86-89).
- Kobelev K.V., Danilyan A.V., Selina I.V., Sozinova M.S. The evaluation system of brewing properties of barley breeding. *Pivo i napitki = Beer and Drinks*. 2015;(2):40-42. [in Russian] (Кобелев К.В., Данилян А.В., Селина И.В., Созинова М.С. Система оценки пивоваренных свойств селекционного ячменя. *Пиво и напитки*. 2015;(2):40-42).
- 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 sokhraneniyyu 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. Main methods of seed production of malting barley in the southern forest-steppe of Omsk Province (Osnovnyye priemy proizvodstva semyan pivovarennogo yachmenya v yuzhnoy lesostepi Omskoy oblasti) [dissertation]. Omsk; 2003. [in Russian] (Максимов Р.А. Основные приемы производства семян пивоваренного ячменя в южной лесостепи Омской области: дис. ... канд. сельскохозяйств. наук. Омск; 2003).
- Morcia C., Tumino G., Ghizzoni R., Badeck F.W., Terzi V., Lattanzio V.M.T. et al. Occurrence of *Fusarium langsethiae* and T-2 and HT-2 toxins in Italian malting barley. *Toxins*. 2016;8(8):247. DOI: 10.3390/toxins8080247
- Neugschwandtner R.W., Papst S., Kemetter J., Wagentristl H., Sedlář O., Kaul H.P. Effect of seed size on soil cover, yield, yield components and nitrogen uptake of two-row malting barley. *Die Bodenkultur*. 2019;70(2):89-98. DOI: 10.2478/boku-2019-0008
- Nogueira M.S., Decundo J., Martinez M., Dieguez S.N., Moreyra F., Moreno M.V. et al. Natural contamination with mycotoxins produced by *Fusarium graminearum* and *Fusarium poae* in malting barley in Argentina. *Toxins*. 2018;10(2):78. DOI: 10.3390/toxins10020078
- Oganesyants L., Vafin R., Galstyan A., Ryabova A., Khurshudyan S., Semipyatny V. DNA authentication of brewery products: basic principles and methodological approaches. *Foods and Raw Materials*. 2019;7(2):364-374. DOI: 10.21603/2308-4057-2019-2-364-374
- Ponomareva Yu.N., Zaharova O.A. The effect of mineral fertilizers and growth regulator on yield and quality of malt barley when drought. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2015;3(27):36-42. [in Russian] (Пономарёва Ю.Н., Захарова О.А. Действие минеральных удобрений и регулятора роста на урожайность и качество пивоваренного ячменя в условиях засухи. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2015;3(27):36-42).
- Yeroshenko L.M., Yeroshenko A.N., Romakhin M.M., Gladysheva O.V., Levakova O.V. Productivity and quality of brewing varieties of spring barley in the Central Region of the RF. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2015;(2):40-43. [in Russian] (Ерошенко Л.М., Ерошенко А.Н., Ромахин М.М., Гладышева О.В., Левакова О.В. Продуктивность и качество пивоваренных сортов ярового ячменя в Центральном регионе РФ. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2015;(2):40-43).
- Yusova O.A., Nikolaev P.N., Bendina Ya.B., Safonova I.V., Aniskov N.I. Stress resistance in barley cultivars of various agroecological origin under extreme continental climate conditions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020a;181(4):44-55. [in Russian] (Юсова О.А., Николаев П.Н., Бендина Я.Б., Сафонова И.В., Анисков Н.И. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020a;181(4):44-55). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55
- Yusova O.A., Nikolaev P.N., Safonova I.V., Aniskov N.I. Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020b;181(2):42-49. [in Russian] (Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Анисков Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020b;181(2):42-49). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49

Информация об авторах

Оксана Александровна Юсова, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией, Омский аграрный научный центр, 644012 Россия, Омск, пр. Королева, 26, yusova@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3679-8985>

Петр Николаевич Николаев, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, Омский аграрный научный центр, 644012 Россия, Омск, пр. Королева, 26, nikolaev@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5192-2967>

Михаил Александрович Кузьмич, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», 143026 Россия, Московская обл., Одинцово, р. п. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6, m-kuzmich@yandex.ru

Людмила Семеновна Кузьмич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», 143026 Россия, Московская обл., Одинцово, р. п. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6, m-kuzmich@yandex.ru

Information about the authors

Oksana A. Yusova, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russia, yusova@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3679-8985>

Petr N. Nikolaev, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russia, nikolaev@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5192-2967>

Mikhail A. Kuzmich, Dr. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, Nemchinovka Federal Research Center, 6 Agrokhimikov St., Novoivanovskoye Settle., Odintsovo, Moscow Province 143026, Russia, m-kuzmich@yandex.ru

Lyudmila S. Kuzmich, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Nemchinovka Federal Research Center, 6 Agrokhimikov St., Novoivanovskoye Settle., Odintsovo, Moscow Province 143026, Russia, m-kuzmich@yandex.ru

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 31.05.2021; одобрена после рецензирования 04.05.2022; принята к публикации 02.03.2023.
The article was submitted on 31.05.2021; approved after reviewing on 04.05.2022; accepted for publication on 02.03.2023.

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья

УДК 633.11"321"(571.63)

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101



Адаптивный потенциал яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) в условиях Приморского края

П. М. Богдан, А. Г. Клыков, И. В. Коновалова, Н. В. Кузьменко

Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Уссурийск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Полина Михайловна Богдан, fe.smc_rf@mail.ru

Актуальность. Расширение зоны возделывания яровой твердой пшеницы возможно только на основе адаптированных сортов. Цель исследования – изучить сорта яровой твердой пшеницы из разных регионов России, выделить урожайные, адаптированные к почвенно-климатическим условиям Приморского края, с высокими показателями качества зерна.

Материалы и методы. Адаптивный потенциал генотипов определяли по результатам экологического испытания 16 сортов яровой твердой пшеницы, проводимого в ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» в 2017–2021 гг.

Результаты. В результате исследований высокий потенциал продуктивности выявлен у сортов яровой твердой пшеницы: 'Солнечная 573' – 3,9 т/га, 'Донская элегия' – 3,8 т/га, 'Людмила' – 3,8 т/га, 'Омский изумруд' – 3,8 т/га, 'Воронежская 7' – 3,8 т/га. Стрессоустойчивость проявили: 'Памяти Янченко' (–2,1), 'Жемчужина Сибири' (–2,4), 'Воронежская 7' (–2,4). Высокая генетическая гибкость отмечена у сортов 'Людмила' (4,2) и 'Донская элегия' (4,0), формирующих высокую урожайность в благоприятные по погодным условиям годы. Сорта 'Солнечная 573' (112,5%), 'Воронежская 7' (111,0%) имели коэффициент адаптивности выше 100%. К пластичным отнесены: 'Донская элегия', 'Людмила', 'Алейская', 'Воронежская 9' ($b_i > 1$); к стабильным: 'Омский циркон' ($S^2d_i = 0,00$), 'Памяти Янченко' ($S^2d_i = 0,02$), 'Воронежская 7' ($S^2d_i = 0,04$), 'Алейская' ($S^2d_i = 0,05$), 'Николаша' ($S^2d_i = 0,06$), 'Омская бирюза' ($S^2d_i = 0,08$); сорта 'Воронежская 7' и 'Памяти Янченко' способны формировать высокую продуктивность, при незначительном ее снижении в неблагоприятных условиях (ПУСС 134,9 и 144,8 соответственно). Высокую гомеостатичность и селекционную ценность показали сорта 'Памяти Янченко' (4,8 и 1,9 соответственно) и 'Воронежская 7' (3,5 и 2,0 соответственно).

Заключение. На основании комплексной оценки по урожайности и параметрам адаптивности в условиях Приморского края выделены два сорта: 'Воронежская 7' и 'Солнечная 573', рекомендуемые для испытания в производстве.

Ключевые слова: сорт, твердая пшеница, урожайность, пластичность, стабильность, адаптивность

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану № FNGW-2022-0008 «Создать новые генотипы сельскохозяйственных культур с высокой продуктивностью, устойчивостью к абиотическим и биотическим факторам среды».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Богдан П.М., Клыков А.Г., Коновалова И.В., Кузьменко Н.В. Адаптивный потенциал яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) в условиях Приморского края. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023;184(1):90-101. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101

Adaptive potential of spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under the conditions of Primorsky Territory

Polina M. Bogdan, Aleksei G. Klykov, Inna V. Konovalova, Natalya V. Kuzmenko

*Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk, Russia***Corresponding author:** Polina M. Bogdan, fe.smc_rf@mail.ru

Background. The research goal was to study spring durum wheat cultivars from different regions of Russia to select those that were most adapted to the conditions of Primorsky Territory and had high yield and grain quality.

Materials and methods. The adaptive potential of 16 genotypes was determined through multi-environment trials at the Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika in 2017–2021.

Results. Considerable potential for high productivity was revealed in the cultivars: 'Solnechnaya 573' (3.9 t/ha), 'Donskaya elegiya' (3.8 t/ha), 'Lyudmila' (3.8 t/ha), 'Omskii izumrud' (3.8 t/ha), and 'Voronezhskaya 7' (3.8 t/ha). Cvs. 'Pamyati Yanchenko' (–2.1), 'Zhemchuzhina Sibiri' (–2.4), and 'Voronezhskaya 7' (–2.4) displayed significant stress resistance. 'Lyudmila' (4.2) and 'Donskaya elegiya' (4.0) had high genetic plasticity and produced high yields in the years with favorable conditions. The adaptability coefficient of cvs. 'Solnechnaya 573' (112.5%) and 'Voronezhskaya 7' (111.0%) exceeded 100%. 'Donskaya elegiya', 'Lyudmila', 'Aleiskaya', and 'Voronezhskaya 9' demonstrated the highest plasticity ($b_1 > 1$). The most stable cultivars were 'Omskii tsirkon' ($S^2_{d_i} - 0.00$), 'Pamyati Yanchenko' ($S^2_{d_i} - 0.02$), 'Voronezhskaya 7' ($S^2_{d_i} - 0.04$), 'Aleiskaya' ($S^2_{d_i} - 0.05$), 'Nikolasha' ($S^2_{d_i} - 0.06$), and 'Omskaya biryuza' ($S^2_{d_i} - 0.08$). 'Voronezhskaya 7' and 'Pamyati Yanchenko' were able to produce an increased yield and had the minimum yield loss under unfavorable conditions (the indicator of the yield stability of the cultivars was 134.9 and 144.8, respectively). 'Pamyati Yanchenko' (4.8 and 1.9, respectively) and 'Voronezhskaya 7' (3.5 and 2.0, respectively) showed high homeostatic capacity and breeding value.

Conclusions. 'Voronezhskaya 7' and 'Solnechnaya 573' were selected on the basis of complex evaluation for yield and adaptability under the local conditions. They can be recommended for further breeding and production.

Keywords: cultivar, durum wheat, yield, plasticity, stability, adaptability

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state task according to theme plan No. FNGW-2022-0008: "To create new genotypes of agricultural crops with high productivity and resistance to abiotic and biotic environmental factors".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Bogdan P.M., Klykov A.G., Konovalova I.V., Kuzmenko N.V. Adaptive potential of spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under the conditions of Primorsky Territory. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):90-101. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101

Введение

Ежегодно в мире твердая пшеница (*Triticum durum* Desf.) выращивается на площади около 17,0 млн га. Валовой объем ее производства составляет около 30–35 млн т в год, в том числе в Северной Америке (Канада – 5,0–7,8 млн т ежегодно, США – 1,5–2,8 млн т, Мексика – 2,0 млн т), странах Европейского Союза (8,5–9,8 млн т, в том числе Италия – около 4 млн т), Северной Африке (Марокко – 2,0 млн т, Алжир – 2,0 млн т, Тунис – 1,0 млн т), а также Турции (4,0 млн т). Среднегодовое производство зерна этой культуры в России – около 600–800 тыс. т, что составляет менее 2,0% от общемирового производства. В Приволжском федеральном округе производится 60% зерна, от 10% до 20% – в Уральском, Западно-Сибирском и Южном округах. На сегодняшний день яровая твердая пшеница возделывается в основном в шести регионах России (в Оренбургской области – 300 тыс. т валового сбора, в Челябинской – 250 тыс. т, в Саратовской – 60 тыс. т; в Самарской области, в Ставропольском и Алтайском краях – по 30 тыс. т). (Kabbaj et al., 2017; Samofalova et al., 2012; Shevchenko et al., 2010; Yusov et al., 2016; Goncharov et al., 2018).

В связи с возрастающей потребностью в зерне твердой пшеницы в целом по стране, а также развитием темпов роста предприятий по выпуску макаронных изделий возрастает необходимость увеличения производства твердой пшеницы в основных районах ее выращивания, а также расширения зоны ее возделывания (Spiridonov et al., 2017).

Высококачественное зерно из-за биологических особенностей культуры можно получить не во всех регионах России, характеризующихся различными почвенно-климатическими условиями (Malchikov et al., 2012). Биоклиматический потенциал традиционных районов возделывания позволяет выращивать зерно твердой пшеницы, отвечающее требованиям 1–3 классов. Однако значительные колебания экологических условий, почти ежегодное действие стрессовых факторов, в том числе устойчивость вида ниже, чем у мягкой пшеницы, снижают ее конкурентоспособность (Goncharov et al., 2018). К факторам, ограничивающим получение высокого урожая и качества зерна твердой пшеницы, относятся почвенная засуха, засоление, поражаемость болезнями и вредителями, недостаточная сумма эффективных температур за вегетационный период (Lyapunova, Andreeva, 2020).

Значительный вклад в производство и заготовку высококачественного зерна твердой пшеницы может внести Дальневосточный регион. Муссонный климат Приморского края характеризуется недостатком влаги в почве в первую половину вегетационного периода сельскохозяйственных культур и переувлажнением, в сочетании с высокой температурой воздуха во второй, что благоприятно для развития грибных заболеваний. В связи с этим распространение твердой пшеницы в Приморском крае возможно лишь при выращивании адаптированных к местным условиям сортов, приспособленных к широкому спектру абиотических факторов среды, для реализации своего генетического потенциала и эффективного использования перспективных ресурсосберегающих технологий возделывания.

В настоящее время разработано достаточно большое количество методов статистического анализа, позволяющих определить влияние условий выращивания на продуктивность сельскохозяйственных культур, выделить образцы, для которых оно минимально, а также спрогно-

зировать реакцию генотипов на их изменение (Solonechnyi, 2017; Cheshkova et al., 2020; Detsyna et al., 2020).

Отмечено, что определение адаптивного потенциала по одному или двум показателям не является достоверным и не позволяет объективно оценить реакцию генотипов на изменяющиеся условия (Yusova et al., 2021). По мнению ряда исследователей, информативность статистического анализа повышается при использовании нескольких методов оценки признаков адаптивности (Cheshkova et al., 2020; Nikolaev et al., 2018).

Цель исследования – изучить сорта яровой твердой пшеницы из разных регионов России, выделить урожайные, адаптированные к почвенно-климатическим условиям Приморского края, с высокими показателями качества зерна.

Материалы и методы

Для оценки адаптивного потенциала использовались результаты экологического испытания 16 сортов яровой твердой пшеницы различного происхождения: 'Николаша' (ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко», Краснодарский край); 'Донская элегия' (ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр», Ростовская обл.); 'Людмила' (ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока», Саратовская обл.); 'Омская янтарная', 'Омский корунд', 'Жемчужина Сибири', 'Омская бирюза', 'Омский циркон', 'Омский изумруд', 'Омская степная' (ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», Омская обл.); 'Салют Алтая', 'Солнечная 573', 'Алейская', 'Памяти Янченко' (ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», Алтайский край); 'Воронежская 7', 'Воронежская 9' (ФГБНУ «Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева», Воронежская обл.), проведенного в селекционно-семеноводческом севообороте лаборатории селекции зерновых и крупяных культур ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» в 2017–2021 гг.

Почва лугово-бурая отбеленная, пахотный горизонт подстилается тяжелыми водонепроницаемыми суглинками. Предшественник – соя. Обработка почвы включала осеннюю вспашку на глубину 23–25 см, ранневесеннее боронование и предпосевную культивацию. Посев экологического испытания проводили селекционной сеялкой ККС-6-10 во II декаде апреля, норма высева – 5,5 млн всхожих зерен на гектар. Учетная площадь делянки – 10,0 м², повторность 3-кратная, размещение делянок рендомизированное. Стандартом (st.) служил сорт яровой мягкой пшеницы 'Приморская 39'.

Уборка сортов яровой твердой пшеницы – в фазу восковой спелости комбайном Хеге-125, учет урожайности проводился при влажности зерна 14%. Биометрический анализ сноповых образцов для определения основных параметров структуры урожайности культуры (продуктивная кустистость, число зерен в колосе, масса 1000 зерен и др.) осуществлялся по 10 растениям каждого сорта в 3-кратной повторности (Methodology..., 1989). В лаборатории агрохимических анализов ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» определены содержание белка (GOST 10846-91..., 2009) и сырой клейковины (GOST R 54478-2011..., 2003) в зерне.

При обработке данных применяли дисперсионный и вариационный анализы по Б.А. Доспехову (Dospikhov, 2014). Для анализа адаптивного потенциала сортов использовали ряд методов, позволяющих оценить их пла-

стичность и стабильность в условиях Приморского края: по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell в изложении В. А. Зыкина (Zykin et al., 2008) определены индекс условий среды (I_s), коэффициенты экологической пластичности (b_s) и стабильности (S^2d); по методике A. A. Rossielle, J. Hamblin (1981) в изложении А. А. Гончаренко (Goncharenko, 2005) рассчитаны устойчивость к стрессу ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и генетическая гибкость ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2$); по методике Л. А. Животкова (Zhivotkov et al., 1994) – коэффициент адаптивности; по методике В. В. Хангильдина (Khangildin et al., 1979) – гомеостатичность (Hom) и селекционная ценность генотипов (Sc); показатель уровня и стабильности урожайности сорта (ПУСС) – по Э. Д. Неттевичу (Nettevich et al., 1985).

Оценку влагообеспеченности территории в годы исследований проводили по методике Г. Т. Селянинова (Selyaninov, 1937). При расчете гидротермического коэффициента (ГТК) основывались на данных суммы эффективных температур $> 10^\circ\text{C}$ и количества осадков за вегетационный период яровой твердой пшеницы, предоставленных агрометеостанцией поселка Тимирязевский (г. Уссурийск, Приморский край). При этом величина ГТК в пределах 0,4...0,7 – очень засушливо; 1,0...1,5 – влажно; более 1,5 – избыточно влажно (рис. 1).

ние – выход в трубку» (ГТК 1,9 и 1,7) оказали положительное влияние на увеличение вегетативной массы растений и развитие фертильных цветков, определяющих число зерен в колосе (Kruchinina et al., 2017). Налив и увеличение массы зерна в межфазный период «колошение – созревание» проходил при высоких температурах воздуха и недостатке влаги (ГТК 0,3 и 0,2), что способствовало быстрому созреванию и наименьшему развитию грибных болезней.

Результаты и их обсуждение

Индекс условий среды (I_s), показывающий насколько хуже или лучше складывались условия для возделывания твердой пшеницы, изменялся от –1,44 до 1,57, наибольший его показатель отмечен в 2021 г, когда была зафиксирована максимальная за годы исследований средняя урожайность сортов – 5,1 т/га (рис. 2).

С помощью дисперсионного анализа результатов исследований двухфакторного полевого опыта определена доля влияния генотипа и среды, а также их взаимодействия на урожайность изучаемых сортов. Установлено, что наибольший вклад (77,9%) в общую дисперсию вносил фактор «среда». Роль сорта невелика – 9,0%. Взаимо-

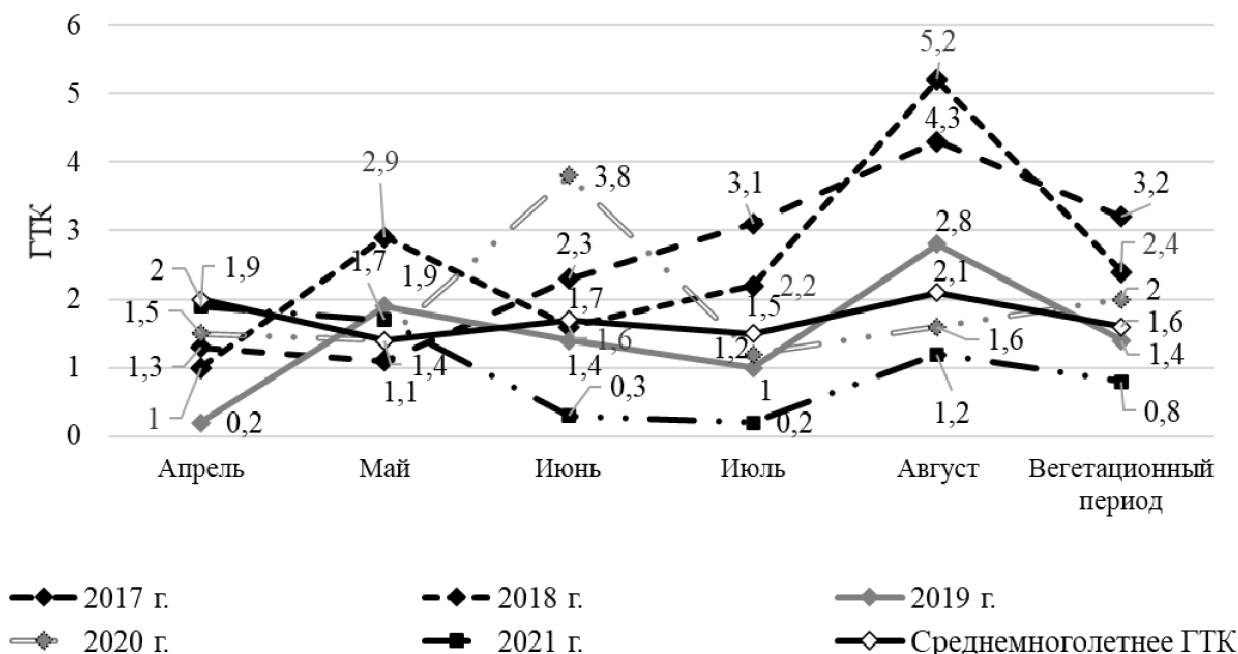


Рис. 1. Характеристика уровня влагообеспеченности вегетационного периода яровой твердой пшеницы, 2017–2021 гг. (ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Приморский край)

Fig. 1. Selyaninov's hydrothermal coefficient (HTC) during the growing season of spring durum wheat, 2017–2021 (Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Primorsky Territory)

Разнообразие метеорологических условий 2017–2021 гг. по количеству осадков и температурному режиму способствовало более полной и объективной оценке исследуемого материала. Гидротермический коэффициент – показатель, влияющий на продуктивность сельскохозяйственных культур (Radzka et al., 2015), за вегетационный период яровой твердой пшеницы по годам варьировал от 0,8 (засушливо) в 2021 г. до 3,2 (избыточно влажно) в 2017 г. Благоприятные условия для реализации потенциала продуктивности яровой твердой пшеницы сложились в 2021 г., достаточное количество осадков в мае и июне в периоды «всходы – кущение» и «куще-

действие факторов «среда × сорт» на 11,4% достоверно влияет на изменчивость урожайности (табл. 1).

Средняя урожайность сортов яровой твердой пшеницы варьировала от 2,4 до 3,9 т/га, а наибольшая отмечена у сортов: 'Солнечная 573' – 3,9 т/га, 'Донская элегия' – 3,8 т/га, 'Людмила' – 3,8 т/га, 'Омский изумруд' – 3,8 т/га, 'Воронежская 7' – 3,8 т/га (рис. 3).

В результате изучения установлено, что сорта яровой твердой пшеницы достоверно превышали стандарт 'Приморская 39' по продуктивной кустистости ('Омская янтарная', 'Николаша', 'Донская элегия', 'Омская степная', 'Салют Алтая', 'Солнечная 573') на 28,6–35,7%; по числу

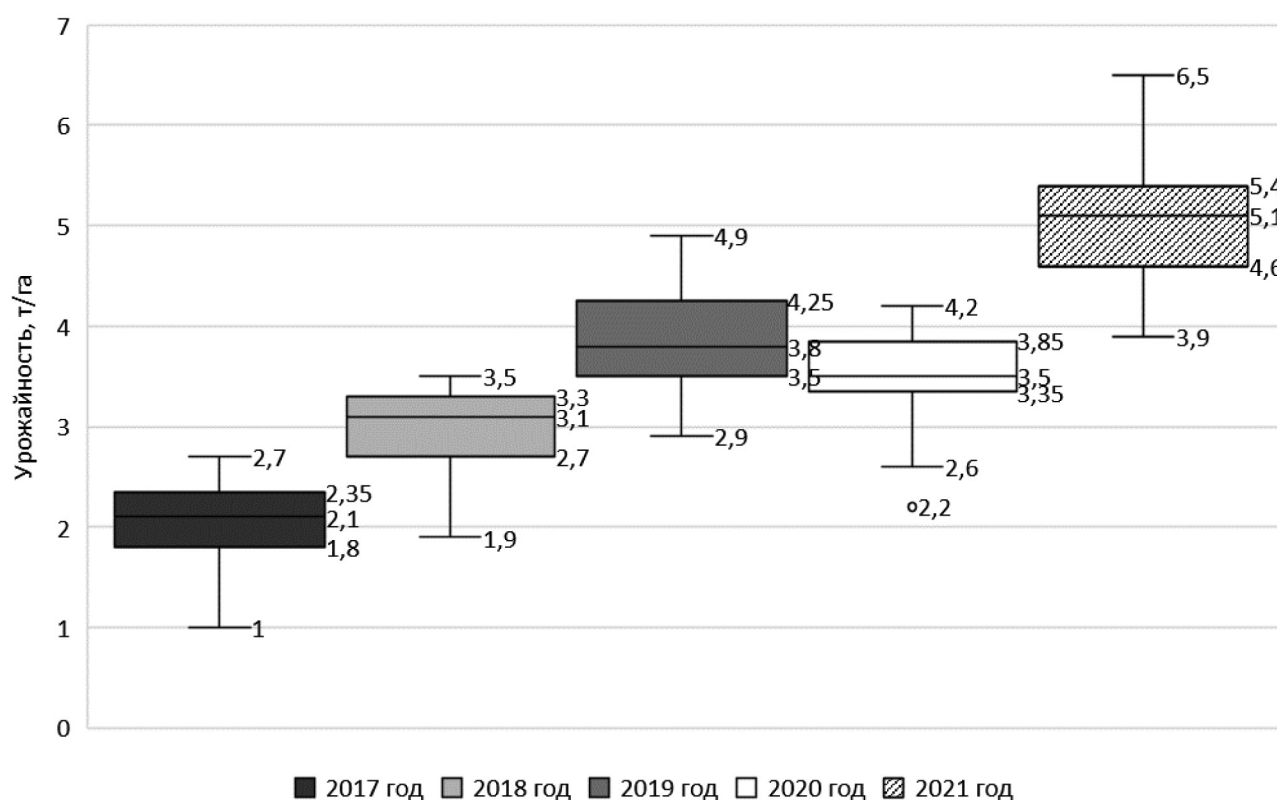


Рис. 2. Средняя урожайность яровой твердой пшеницы в экологическом испытании, 2017–2021 гг. (ФНЦ агrobiотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Приморский край)

Fig. 2. Average yield of spring durum wheat cultivars in the multi-environment trials, 2017–2021 (Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Primorsky Territory)

Таблица 1. Дисперсионный анализ урожайности сортов яровой твердой пшеницы в экологическом испытании, 2017–2021 гг. (ФНЦ агrobiотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Приморский край)

Table 1. The analysis of variance for the yield of spring durum wheat cultivars in the multi-environment trials, 2017–2021 (Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Primorsky Territory)

Дисперсия / Variance	DF	SS	MS	F	Доля фактора, % / Factor's effect size, %
Общая / Total	254	326,1	1,28	–	100,0
Фактор А (среда) / Factor A (environment)	4	254,1	63,5	1973,3*	77,9
Фактор Б (сорт) / Factor B (cultivar)	16	29,3	1,8	56,9*	9,0
Взаимодействие А × Б / Interrelationship between A and B	64	37,2	0,6	18,0*	11,4
Ошибка / Error	168	5,4	0,03	–	1,7

Примечание: DF – степени свободы; SS – сумма квадратов; MS – средний квадрат; F – критерий Фишера. Статистически значим при уровне вероятности $P \geq 0,95$

Note: DF – degree of freedom; SS – sum of squares; MS – mean square; F – Fisher's criterion. Statistically significant at $P \geq 0.95$



Рис. 3. Средняя урожайность сортов яровой твердой пшеницы (т/га), 2017–2021 гг.

(ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Приморский край)

Примечание: статистически значимо при уровне вероятности $P \geq 0,95$

Fig. 3. Average yield of spring durum wheat cultivars (t/ha), 2017–2021

(Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Primorsky Territory)

Note: statistically significant at $P \geq 0.95$

зерен в колосе ('Николаша') на 4,0 г; по массе зерна с колоса ('Омский корунд' и 'Николаша') на 0,48 г и 0,25 г соответственно.

По содержанию белка в зерне и количеству клейковины изучаемые сорта яровой твердой пшеницы отвечали требованиям 3-го класса ГОСТ 9353-2016 (ГОСТ 9353-2016..., 2019), содержание их в среднем за годы изучения по сортам варьировало в пределах от 12,3–13,3% до 20,9–25,0% соответственно. Исключение составил сорт 'Памяти Янченко', который по содержанию белка (13,3%) и клейковины (25,0%) можно отнести ко 2-му классу. Приведенные данные говорят о возможности получения высококачественной твердой пшеницы в условиях Приморского края.

Отмечено, что в условиях Приморского края яровая твердая пшеница формирует крупное зерно (от 36,9 до 43,4 г), при наибольшем значении у сортов 'Людмила' – 43,4 г, 'Омский циркон' – 42,1 г, 'Омский изумруд' – 40,9 г, 'Омский корунд' – 40,1 г (табл. 2).

Одним из важнейших показателей, характеризующих экологическую пластичность генотипов, является их стрессоустойчивость ($Y_{\min} - Y_{\max}$), отражающая разницу между минимальным и максимальным значением признака. В результате проведенных исследований отмечена низкая устойчивость яровой твердой пшеницы к стрессу. Наименьшая разница урожайности в неблагоприятные и благоприятные годы исследований была у сортов 'Памяти Янченко' (–2,1), 'Жемчужина Сибири' (–2,4), 'Воронежская 7' (–2,4).

Генетическая гибкость ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2$) генотипов отражает среднее значение признака в контрастных условиях. Чем выше данный показатель, тем выше степень соответствия между генотипом сорта и факторами среды. Установлено, что сорта с низким значением стрессоустойчивости 'Людмила' (–4,6) и 'Донская элегия' (–4,2) показали более высокую генетическую гибкость – 4,2

и 4,0 соответственно, что позволило им сформировать высокий урожай зерна в благоприятные годы исследования.

Более полную информацию об адаптивности сортов к почвенно-климатическим условиям Приморского края отражает коэффициент адаптивности, рассчитанный по методике Л. А. Животкова (Zhivotkov et al., 1994), суть которого заключается в сравнении средней урожайности каждого изучаемого сорта относительно среднесортной каждого года исследования. Данный показатель варьировал от 66,9% у сорта 'Николаша' до 112,5% у сорта 'Солнечная 573'. За годы изучения 62,5% сортов яровой твердой пшеницы имели коэффициент адаптивности выше 100%: 'Солнечная 573' (112,5%), 'Воронежская 7' (111,0%), 'Омский изумруд' (108,9%), 'Донская элегия' (106,9%), 'Людмила' (105,3%), 'Омский корунд' (103,8%), 'Памяти Янченко' (102,6%), 'Омская янтарная' (102,0%), 'Салют Алтая' (101,3%), 'Омская степная' (101,2%).

Коэффициент экологической пластичности (b_i), рассчитанный по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell (Zykin et al., 2008), показывает отзывчивость сортов на изменение условий: чем выше числовые значения b_i , тем сильнее изменяется урожайность при смене условий произрастания.

Исследования показали, что к сортам интенсивного типа ($b_i > 1$), формирующим высокую продуктивность при благоприятных условиях выращивания, следует отнести: 'Донская элегия', 'Людмила', 'Алейская', 'Воронежская 9'. Экстенсивные, слабочувствительные к улучшению условий произрастания ($b_i < 1$) сорта: 'Омская янтарная', 'Жемчужина Сибири', 'Омская бирюза', 'Омский циркон', 'Омский изумруд', 'Салют Алтая', 'Памяти Янченко', 'Воронежская 7'. Однако отмечено, что при неблагоприятных условиях эти сорта меньше снижают показатели продуктивности, чем сорта интенсивного типа. У сортов 'Николаша', 'Омский корунд', 'Омская степная', 'Солнеч-

Таблица 2. Хозяйственно ценные признаки и показатели качества зерна яровой твердой пшеницы, 2017–2021 гг.
(ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Приморский край)

Table 2. Agronomic characteristics and grain quality parameters of spring durum wheat, 2017–2021
(Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Primorsky Territory)

Сорт / Cultivar	Происхождение / Origin	Продуктивная кустистость, шт. / Tillering capacity, pcs	Число зерен в колосе, шт. / Kernels per spike, pcs	Масса зерна с растения, г / Grain weight per plant, g	Масса 1000 зерен, г / 1000 kernel weight, g	Содержание белка, %/ Protein content, %	Содержание клейковины, % / Gluten content, %
Приморская 39 (st) / Primorskaya 39 (st)	Приморский край	1,4	26,1	1,09	35,3	13,5	27,9
Николаша / Nikolasha	Краснодарский край	1,8	30,1	1,34	37,2	12,3	22,5
Донская элегия / Donskaya elegiya	Ростовская обл.	1,8	26,3	1,18	38,8	12,5	22,9
Людмила / Lyudmila	Саратовская обл.	1,6	26,1	1,23	43,4	12,8	24,0
Омская янтарная / Omskaya yantarnaya	Омская обл.	1,9	25,0	1,22	39,6	13,0	24,4
Омский корунд / Omskii korund	— « —	1,5	26,0	1,57	40,1	12,7	23,5
Жемчужина Сибири / Zhemchuzhina Sibiri	— « —	1,5	23,7	0,96	37,6	12,7	23,3
Омская бирюза / Omskaya biryuza	— « —	1,6	26,1	1,09	36,9	12,7	23,4
Омский циркон / Omskii tsirkon	— « —	1,7	27,9	1,26	42,1	12,7	23,1
Омский изумруд / Omskii izumrud	— « —	1,7	28,5	1,22	40,9	13,0	23,4
Омская степная / Omskaya stepnaya	— « —	1,8	27,0	1,10	39,9	13,1	24,4
Салют Алтая / Salyut Altaia	Алтайский край	1,8	25,8	1,14	39,6	12,9	23,9
Солнечная 573 / Solnechnaya 573	— « —	1,8	25,5	1,15	39,4	12,9	23,6
Алейская / Aleiskaya	— « —	1,6	24,7	1,03	39,3	12,5	22,1
Памяти Янченко / Pamyati Yanchenko	— « —	1,6	24,4	1,03	39,6	13,3	25,0
Воронежская 7 / Voronezhskaya 7	Воронежская обл.	1,6	25,6	1,08	39,4	12,0	22,9
Воронежская 9 / Voronezhskaya 9	— « —	1,6	26,3	1,12	39,0	12,9	24,1
НСР ₉₅		0,2	2,5	0,12	4,2	0,6	1,9

ная 573' ($b_i = 1$) отмечено полное соответствие варьирования урожайности изменению условий выращивания.

Стабильность характеризует степень отклонения урожайности сортов конкретного года от средней величины данного показателя за все годы испытания. К стабильным генотипам (S^2d_i стремится к нулю) отнесены: 'Омский циркон' ($S^2d_i = 0,00$), 'Памяти Янченко' ($S^2d_i = 0,02$), 'Воронежская 7' ($S^2d_i = 0,04$), 'Алейская' ($S^2d_i = 0,05$), 'Николаша' ($S^2d_i = 0,06$), 'Омская бирюза' ($S^2d_i = 0,08$).

Комплексный показатель ПУСС (Konstantinova, Kondratenko, 2015), отражающий уровень и стабильность

урожайности относительно стандарта, в наших исследованиях варьировал от 31,8 до 144,8. Высоким значением данного параметра характеризовались сорта яровой твердой пшеницы 'Воронежская 7' и 'Памяти Янченко' (+34,9%...+44,8% к стандарту), способные формировать высокую продуктивность при незначительном ее снижении в неблагоприятных условиях произрастания (табл. 3).

Важным параметром, определяющим способность генотипа минимизировать последствия влияния неблагоприятных условий среды, является гомеостаз. Гомеоста-

Таблица 3. Показатели адаптивности сортов яровой твердой пшеницы, 2017–2021 гг.

(ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Приморский край)

Table 3. Adaptability indicators of spring durum wheat cultivars, 2017–2021

(Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Primorsky Territory)

Сорт / Cultivar	$Y_{\min} - Y_{\max}$	$(Y_{\min} + Y_{\max})/2$	V, %	b_i	KA / CA	Hom	Sc	S^2d_i	ПУСС / YS
Приморская 39 (st) / Primorskaya 39 (st)	-3,2	3,8	33,2	1,1	104,6	1,4	1,5	0,02	100
Николаша / Nikolasha	-2,9	2,4	46,1	1,0	66,9	0,8	0,6	0,06	31,8
Донская элегия / Donskaya elegiya	-4,2	4,0	40,8	1,4	106,9	0,7	1,2	0,05	88,8
Людмила / Lyudmila	-4,6	4,2	45,1	1,5	105,3	0,5	1,1	0,23	78,6
Омская янтарная / Omskaya yantarnaya	-2,7	3,8	31,3	0,8	102,0	1,9	1,7	0,44	95,9
Омский корунд / Omskii korund	-3,5	3,8	36,6	1,0	103,8	1,1	1,4	0,50	88,8
Жемчужина Сибири / Zhemchuzhina Sibiri	-2,4	3,0	30,9	0,8	91,1	2,2	1,4	0,11	81,1
Омская бирюза / Omskaya biryuza	-2,9	3,1	31,6	0,9	94,3	1,7	1,2	0,08	85,3
Омский циркон / Omskii tsirkon	-2,7	3,4	29,1	0,9	99,2	2,2	1,5	0,00	100,7
Омский изумруд / Omskii izumrud	-2,7	3,4	28,7	0,9	108,9	2,3	1,6	0,18	123,6
Омская степная / Omskaya stepnaya	-3,1	3,3	35,6	1,0	101,2	1,3	1,3	0,52	88,1
Салют Алтая / Salyut Altaia	-2,7	3,3	27,7	0,8	101,3	2,4	1,5	0,11	109,8
Солнечная 573 / Solnechnaya 573	-2,8	3,8	29,7	1,0	112,5	2,0	1,8	0,14	126,9
Алейская / Aleiskaya	-3,6	3,4	42,2	1,2	89,7	0,8	1,0	0,05	60,9
Памяти Янченко / Pamyati Yanchenko	-2,1	3,5	22,3	0,7	102,6	4,8	1,9	0,02	134,9
Воронежская 7 / Voronezhskaya 7	-2,4	3,9	24,5	0,8	111,0	3,5	2,0	0,04	144,8
Воронежская 9 / Voronezhskaya 9	-3,4	3,7	39,9	1,1	98,6	0,9	1,3	0,46	74,4

Примечание: $Y_{\min} - Y_{\max}$ – устойчивость к стрессу; $(Y_{\min} + Y_{\max})/2$ – генетическая гибкость; V – коэффициент вариации; b_i – коэффициент регрессии; KA – коэффициент адаптивности; Hom – гомеостатичность; Sc – селекционная ценность генотипа; S^2d_i – варiances стабильности; ПУСС – показатель уровня стабильности сорта

Note: $Y_{\min} - Y_{\max}$ – stress resistance; $(Y_{\min} + Y_{\max})/2$ – genetic plasticity; V – coefficient of variation; b_i – regression coefficient; CA – coefficient of adaptability; Hom – homeostatic capacity; Sc – breeding value of a genotype; S^2d_i – variance of stability; YS – indicator of the yield stability of a cultivar

точность совместно с коэффициентом вариации показывают устойчивость признака при изменении условий среды. Для селекционной оценки генотипов используют параметр селекционной ценности (Sc): сорта, имеющие максимальные значения данного показателя, выделяются высокими средними значениями и стабильностью изучаемого признака (Volkova, Shchennikova, 2020).

Низкий коэффициент вариации ($V = 22,3\%$ и $V = 24,5\%$), высокую гомеостатичность ($Hom = 4,8$ и $Hom =$

$3,5$) и селекционную ценность ($Sc = 1,9$ и $Sc = 2,0$) имели сорта 'Памяти Янченко' и 'Воронежская 7' (см. табл. 3).

Более полную информацию об адаптивности сортов дает применение нескольких методов статистического анализа, но в этом случае для сравнения полученных разрозненных результатов необходимо объединить все данные к единому знаменателю – рангу (Varga et al., 2015; Vazhenina et al., 2013) (табл. 4).

Таблица 4. Ранговая оценка показателей адаптивности сортов яровой твердой пшеницы, 2017–2021 гг.
(ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Приморский край)

Table 4. Ranked assessment of the adaptability indicators in spring durum wheat cultivars, 2017–2021
(Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Primorsky Territory)

Сорт / Cultivar	Ранг/Rank										Общая сумма рангов / Total sum of ranks
	Урожайность / Yield	$Y_{\min} - Y_{\max}$	$(Y_{\min} + Y_{\max})/2$	V, %	b_i	КА / CA	Hom	Sc / BV	S^2d_i	ПУСС / YS	
Приморская 39 (st) / Primorskaya 39 (st)	6	12	4	10	4	6	10	6	2	7	67
Николаша / Nikolasha	17	9	17	17	6	17	14	17	7	17	138
Донская элегия / Donskaya elegiya	2	16	2	14	2	4	16	13	5	9	83
Людмила / Lyudmila	2	17	1	16	1	5	17	15	13	14	101
Омская янтарная / Omskaya yantarnaya	8	4	4	8	13	9	8	4	14	8	80
Омский корунд / Omskii korund	6	14	4	12	6	7	12	9	16	9	95
Жемчужина Сибири / Zhemchuzhina Sibiri	15	2	16	7	13	15	5	9	9	13	104
Омская бирюза / Omskaya biryuza	14	9	15	9	10	14	9	13	8	12	113
Омский циркон / Omskii tsirkon	12	4	10	5	10	12	5	6	1	6	71
Омский изумруд / Omskii izumrud	2	4	10	4	10	3	4	5	12	4	58
Омская степная / Omskaya stepnaya	8	11	13	11	6	11	11	11	17	11	110
Салют Алтая / Salyut Altaya	8	4	13	3	13	10	3	6	9	5	74
Солнечная 573 / Solnechnaya 573	1	8	4	6	6	1	7	3	11	3	50
Алейская / Aleiskaya	15	15	10	15	3	16	14	16	5	16	125
Памяти Янченко / Pamyati Yanchenko	8	1	9	1	17	8	1	2	2	2	51
Воронежская 7 / Voronezhskaya 7	2	2	3	2	13	2	2	1	4	1	32
Воронежская 9 / Voronezhskaya 9	12	13	8	13	4	13	13	11	15	15	117

Примечание: показатели приведены в примечании к таблице 3

Note: the parameters are listed in the note to Table 3

В результате исследований установлено, что для возделывания в производственных условиях Приморского края с целью получения стабильных урожаев зерна можно рекомендовать сорта яровой твердой пшеницы 'Воронежская 7', 'Солнечная 573' и 'Памяти Янченко', у которых сумма рангов по большинству используемых в работе статистических методов оценки параметров адаптивности была наименьшей (32, 50, 51 соответственно).

Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о значительном влиянии условий выращивания на урожайность яровой твердой пшеницы. Установленное с помощью дисперсионного анализа взаимодействие факторов «сорт × среда» позволяют делать вывод о возможности повышения урожайности культуры при выращивании адаптированных к условиям Приморского края сортов. В результате исследований выделены урожайные сорта яровой твердой пшеницы 'Солнечная 573' – 3,9 т/га, 'Донская элегия' – 3,8 т/га, 'Людмила' – 3,8 т/га, 'Омский изумруд' – 3,8 т/га, 'Воронежская 7' – 3,8 т/га, рекомендуемые для селекции на продуктивность. Высокие показатели качества зерна (содержание белка – 13,3% и клейковины – 25,0%, соответствующие 2-му классу ГОСТ 9353-2016) отмечены у сорта 'Памяти Янченко'. С использованием различных статистических показателей определены наиболее адаптированные к условиям Приморского края сорта 'Воронежская 7', 'Солнечная 573', 'Памяти Янченко', способные более эффективно использовать биоклиматический потенциал региона. На основании комплексной оценки по урожайности и параметрам адаптивности лучшими в условиях муссонного климата края признаны сорта 'Воронежская 7' и 'Солнечная 573', рекомендуемые для испытания в производстве.

References / Литература

- Cheshkova A.F., Stepochkin P.I., Aleynikov A.F., Grebennikova I.G., Ponomarenko V.I. A comparison of statistical methods for assessing winter wheat grain yield stability. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(3):267-275. DOI: 10.18699/VJ20.619
- Detsyna A.A., Illarionova I.V., Shcherbinina V.O. Calculation of parameters of ecological plasticity and stability of oil sunflower varieties bred in VNIIMK. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2020;3(183):31-38. [in Russian] (Децына А.А., Илларионова И.В., Щербинина В.О. Расчет параметров экологической пластичности и стабильности масличных сортов подсолнечника селекции ВНИИМК. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2020;3(183):31-38). DOI: 10.25230/2412-608X-2020-3-183-31-38
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]). 5th ed. Moscow: Alyans; 2014 [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Альянс; 2014).
- Goncharenko A.A. On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties. *Vestnik of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2005;(6):49-53. [in Russian] (Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2005;(6):49-53).
- Goncharov S.V., Kurashov M.Yu. Prospects for the development of the Russian durum wheat market. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2018; 2(57):66-75. [in Russian] (Гончаров С.В., Курашов М.Ю. Перспективы развития российского рынка твердой пшеницы. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2018;2(57):66-75). DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.2.66
- GOST 10846-91. Interstate standard. Grain and products of its processing. Method for determination of protein. Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ 10846-91. Межгосударственный стандарт. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. Москва: Стандартинформ; 2009). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023864> [дата обращения: 11.08.2022].
- GOST 9353-2016. Interstate standard. Wheat. Specifications. Official edition. Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ 9353-2016. Межгосударственный стандарт. Пшеница. Технические условия. Издание официальное). Москва: Стандартинформ; 2019). URL: <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/62924> [дата обращения: 10.08.2022].
- GOST R 54478-2011. National standard of the Russian Federation. Grain. Methods for determination of quantity and quality of gluten in wheat. Moscow: Standartinform; 2012. [in Russian] (ГОСТ Р 54478-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. Москва: Стандартинформ; 2012). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200087804> [дата обращения: 11.08.2022].
- Kabbaj H., Sall A.T., Al-Abdallat A., Geleta M., Amri A., Filali-Maltouf A. et al. Genetic diversity within a global panel of durum wheat (*Triticum durum*) landraces and modern germplasm reveals the history of alleles exchange. *Frontiers in Plant Science*. 2017;8:1277. DOI: 10.3389/fpls.2017.01277
- Khangildin V.V., Shayakhmetov I.F., Mardamshin A.G. Homeostasis of the components of grain yield and the perspectives for creating a model of spring wheat cultivar (Gomeostaz komponentov urozhaya zerna i predposylki k sozdaniyu modeli sorta yarovoy pshenitsy). In: V.Kh. Khangildin (ed.). *Genetic analysis of quantitative traits in plants (Geneticheskii analiz kolichestvennykh priznakov rasteniy)*. Ufa; 1979. p.5-39. [in Russian] (Хангильдин В.В., Шаяхметов И.Ф., Мардамшин А.Г. Гомеостаз компонентов урожая зерна и предпосылки к созданию модели сорта яровой пшеницы. В кн.: *Генетический анализ количественных признаков растений* / под ред. В.Х. Хангильдина. Уфа; 1979. С.5-39).
- Konstantinova O.B., Kondratenko E.P. Environmental plasticity and resistance of winter triticale new varieties. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2015;3(36):13-18. [in Russian] (Константинова О.Б., Кондратенко Е.П. Экологическая пластичность и стабильность новых сортов озимого тритикале. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2015;3(36):13-18).
- Kruchinina Yu.V., Efremova T.T., Chumanova E.V., Popova O.M., Arbuzova V.S., Pershina L.A. Influence of vrn-b1 alleles on the phase duration of development of substituted and isogenic wheat lines under natural long day. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2017;(1-2):278-286. [in Russian] (Кручинина Ю.В., Ефремова Т.Т., Чуманова Е.В., Попова О.М., Арбузова В.С., Першина Л.А. Влияние аллелей VRN-b1 на продолжительность фаз развития замещенных и изогенных линий мягкой пшеницы при естественном длинном дне. *Междуна-*

- родный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017; (1-2):278-286).
- Lyapunova O.A., Andreeva A.S. Cultivars and lines added to the gene pool of VIR's durum wheat collection in 2000–2019. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(1):7-16. [in Russian] (Ляпунова О.А., Андреева А.С. Сорты и линии, пополнявшие генофонд твердой пшеницы ВИР в 2000–2019 гг. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(1):7-16). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-7-16
- Malchikov P.N., Vyushkov A.A., Myasnikova M.G. The formation of model durum wheat cultivars in the Middle Volga region in Russia (Formirovaniye modeley sortov tverday pshenitsy dlya Srednevolzhskogo regiona Rossii). Samara: SamNTs RAN; 2012. [in Russian] (Мальчиков П.Н., Вьюшков А.А., Мясникова М.Г. Формирование моделей сортов твердой пшеницы для Средневолжского региона России. Самара: СамНЦ РАН; 2012).
- Methodology for the state variety trials of agricultural crops (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur). Issue 2. Moscow; 1989. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск 2. Москва; 1989).
- Nettevich E.D., Morgounov A.I., Maksimenko M.I. Improving the efficiency of spring wheat selection for stability, yield and quality of grain (Povysheniye effektivnosti otbora yarovoy pshenitsy na stabilnost, urozhaynost i kachestvo zerna). *Vestnik selskokhozyaystvennoy nauki = Bulletin of Agricultural Science*. 1985;(1):66-73. [in Russian] (Неттевич Э.Д., Моргунов А.И., Максименко М.И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность, урожайность и качество зерна. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1985;(1):66-73).
- Nikolaev P.N., Aniskov N.I., Yusova O.A., Safonova I.V. Adaptability of spring oat yield in the environments of the Near-Irtysh area in Omsk Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(4):28-38. [in Russian] (Николаев П.Н., Анисков Н.И., Юсова О.А., Сафонова И.В. Адаптивность урожайности ярового овса в условиях Омского Прииртышья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(4):28-38). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-28-38
- Radzka E., Katarzyna R., Lenartowicz T. Analysis of hydrothermal conditions and their impact on early potato yields. *Journal of Ecological Engineering*. 2015;16(2):120-124. DOI: 10.12911/22998993/1866
- Rosselle A.A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*. 1981;21(6):943-946. DOI: 10.2135/cropsci1981.0011183x002100060033x
- Samofalova N.E., Ilichkina N.P., Kovtun L.N., Dubinina O.A., Beloborodova T.V. Winter durum wheat: achievements, problems, prospects (Tverdaya ozimaya pshenitsa: dostizheniya, problemy, perspektivy). *Grain Economy of Russia*. 2009;(1):7-14. [in Russian] (Самофалова Н.Е., Иличкина Н.П., Ковтун Л.Н., Дубинина О.А., Белобородова Т.В. Твердая озимая пшеница: достижения, проблемы, перспективы. *Зерновое хозяйство России*. 2009;(1):7-14).
- Samofalova N.E., Popov A.S., Ilichkina N.P., Dubinina O.A., Derova T.G. Hard (durum) winter wheat in Rostov Province (cultivar composition, cultivation technologies, seed production) [Tverdaya [turgidnaya] ozimaya pshenitsa v Rostovskoy oblasti [sortovoy sostav, tekhnologiya vozdeleyvaniya, semenovodstvo]]. Rostov-on-Don: Kniga; 2012. [in Russian] (Самофалова Н.Е., Попов А.С., Иличкина Н.П., Дубинина О.А., Дерова Т.Г. Твердая (тургидная) озимая пшеница в Ростовской области (сортовой состав, технология возделывания, семеноводство). Ростов-на-Дону: Книга; 2012).
- Selyaninov G.T. Methodology of the agricultural characterization of climate (Metodika selskokhozyaystvennoy kharakteristiki klimata). In: *Global Agro-Climatic Reference Book (Mirovoy agroklimaticheskiy spravochnik)*. Leningrad; Moscow; 1937. p.5-29. [in Russian] (Селянинов Г.Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата. *Мировой агроклиматический справочник*. Ленинград; Москва; 1937. С.5-29).
- Shevchenko S.N., Korchagin V.A., Goryanin O.I., Malchikov P.N., Vyushkov A.A., Chikin A.P. Production of high-quality grain of spring durum wheat in the Middle Volga region (Proizvodstvo vysokokachestvennogo zerna yarovoy tverday pshenitsy v Srednem Povolzhye). Samara: SamNTS RAN; 2010. [in Russian] (Шевченко С.Н., Корчагин В.А., Горяннин О.И., Мальчиков П.Н., Вьюшков А.А., Чикин А.П. Производство высококачественного зерна яровой твердой пшеницы в Среднем Поволжье. Самара: СамНЦ РАН; 2010).
- Solonechnyi P.N. AMMI and GGE biplot analyses of genotype-environment interaction in spring barley lines. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(6):657-662. [in Russian] (Солонечный П.Н. AMMI и GGE biplot анализ взаимодействия генотип-среда линий ячменя ярового. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(6):657-662). DOI: 10.18699/VJ17.283
- Spiridonov Yu.Ya., Budynkov N.I., Boiko A.P., Strizhkov N.I., Kritskaya E.E. Technology of spring durum wheat cultivation with application of Secator Turbo, Bar-Iton, Falcon, Nagro and others. *The Agrarian Scientific Journal*. 2017;(3):30-36. [in Russian] (Спиридонов Ю.Я., Будынов Н.И., Бойко А.П., Стрижков Н.И., Критская Е.Е. Технология возделывания яровой твердой пшеницы с применением препаратов Секатор турбо, Баритон, Фалькон, Нагро и других. *Аграрный научный журнал*. 2017;(3):30-36).
- Varga B., Vida G., Varga-László E., Bencze S., Veisz O. Effect of simulating drought in various phenophases on the water use efficiency of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2015;201(1):1-9. DOI: 10.1111/jac.12087
- Vazhenina O.E., Kozachenko M.R., Vasko N.I., Naumov A.G. Environmental sustainability of productivity elements of spring barley varieties and efficiency of breeding on the bases of hybridization. *Bulletin of Sumy National Agrarian University*. 2013;(11):164-169. [in Russian] (Важенина О.Е., Козаченко М.Р., Васко Н.И., Наумов А.Г. Экологическая стабильность элементов продуктивности сортов ячменя ярового и эффективность селекции на основе их использования в гибридизации. *Вестник Сумского национального аграрного университета*. 2013;(11):164-169).
- Volkova L.V., Shchennikova I.N. Comparative evaluation of methods for calculating adaptive responses of cereals. *Theoretical and Applied Ecology*. 2020;(3):140-146. [in Russian] (Волкова Л.В., Щенникова И.Н. Сравнительная оценка методов расчета адаптивных реакций зерновых культур. *Теоретическая и прикладная экология*. 2020;(3):140-146). DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-140-146
- Yusova O.A., Nikolaev P.N., Aniskov N.I., Safonova I.V. Ecological response of spring barley varieties to abiotic and biotic factors in the southern forest-steppe of the Omsk region. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021;1(25):224-

235. [in Russian] [Юсов О.А., Николаев П.Н., Анисков Н.И., Сафонова И.В. Экологическая реакция сортов ярового ячменя на абиотические и биотические факторы Южной лесостепи Омского региона. *Таврический вестник аграрной науки*. 2021;1(25):224-235. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-224-235

Yusov V.S., Evdokimov M.G. The gene pool of the program KASIB for the breeding of hard spring wheat adapted to the conditions of Western Siberia (Genofond программы Kasib s seleksii yarovoy tverдой pshenitsy dlya usloviy Zapadnoy Sibiri). In: *Modern ecological state of environment and scientific and practical aspects of sustainable use of natural resources: Proceedings of the 1st Internet Conference (Sovremennoye ekologicheskoye sostoyaniye prirodnoy sredy i nauchno-prakticheskiye aspekty ratsionalnogo prirodopolzovaniya: Sbornik nauchnykh trudov 1 Internet-konferentsii)*. Solenoe Zaimishche; 2016. p.2361-2376. [in Russian] [Юсов В.С., Евдокимов М.Г. Генофонд программы КАСИБ с селекции яровой твердой пшеницы для условий Западной Сибири. В кн.: *Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользова-*

ния: Сборник научных трудов 1 Интернет-конференции. Солёное Займище; 2016. С.2361-2376).

Zhivotkov L.A., Morozova Z.A., Sekatueva L.I. Methods of detecting potential productivity and adaptability in cultivars and breeding forms of winter wheat according to their 'yield' indicator (Metodika vyyavleniya potentsialnoy produktivnosti i adaptivnosti sortov i selektsionnykh form ozimoy pshenitsy po pokazatelyu "urozhaynosti"). *Selektsiya i semenovodstvo = Plant Breeding and Seed Production*. 1994;(2):3-6. [in Russian] [Животков Л.А., Морозова З.А., Секатуева Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайности». *Селекция и семеноводство*. 1994;(2):3-6).

Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S., Korneva S.P. Methods for calculating the environmental plasticity of agricultural plants (Metodiki rascheta ekologicheskoy plastichnosti selskokhozyaystvennykh rasteniy). Omsk: OmGAU; 2008. [in Russian] [Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С., Корнева С.П. Методики расчета экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Омск: ОмГАУ; 2008).

Информация об авторах

Полина Михайловна Богдан, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, polina_bogdan84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3052-5521>

Алексей Григорьевич Клыков, 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>

Инна Витальевна Коновалова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, konovalovainna@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1836-5342>

Наталья Викторовна Кузьменко, младший научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, nata.kuzmenko.2907@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9824-1512>

Information about the authors

Polina M. Bogdan, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, polina_bogdan84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3052-5521>

Aleksei G. Klykov, Academician 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 Settle., Ussuriysk 692539, Russia, alex.klykov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2390-3486>

Inna V. Konovalova, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, konovalovainna@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1836-5342>

Natalya V. Kuzmenko, Associate Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, nata.kuzmenko.2907@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9824-1512>

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 15.11.2022; одобрена после рецензирования 18.01.2023; принята к публикации 02.03.2023. The article was submitted on 15.11.2022; approved after reviewing on 18.01.2023; accepted for publication on 02.03.2023.

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья
УДК 633.521:631.527
DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-102-117



Фенотипическая изменчивость образцов *Linum usitatissimum* L. в условиях Северного Зауралья

К. П. Королев, Н. А. Боме, Н. Н. Колоколова

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

Автор, ответственный за переписку: Константин Петрович Королев, corolev.konstantin2016@yandex.ru

Актуальность. Одним из путей повышения производства льна является расширение посевных площадей, в том числе в зонах нетрадиционных для его выращивания. Для решения этой задачи необходим тщательный подбор сортов, способных давать стабильные высокие урожаи и обладать конкурентоспособным качеством сырья. Цель исследования заключалась в выявлении потенциала адаптивности образцов и выделении источников ценных свойств для их использования в условиях Северного Зауралья.

Материалы и методы. В полевых условиях юга Тюменской области в 2017–2020 гг. было проведено изучение 60 образцов льна. Фенотипический скрининг проводили с использованием Международного классификатора и дескриптора вида *Linum* по показателям полевой всхожести семян, высоте растений, урожайности семян, льносоломы, тресты, волокна. Статистическая обработка данных выполнена методами многофакторного дисперсионного и корреляционного анализа. Экологический скрининг выполняли по S.A. Eberhart, W.A. Russell.

Результаты и заключение. На основании многолетних данных выявлены источники признаков: полевая всхожесть семян – 4; высота растения – 4; продолжительность вегетационного периода – 11; урожайность: соломы – 21; тресты – 19; семян – 9; урожайность всего волокна – 6; масса 1000 семян – 5 образцов. Установлено, что проявление признаков в большей степени обусловлено влиянием фактора «окружающая среда» и сложным взаимодействием «генотип × среда». По результатам баллового ранжирования выделено 12 образцов, которые могут быть использованы в качестве исходного материала для селекции. С помощью корреляционного анализа в среднем за годы исследований обнаружены высокие и стабильные прямые взаимосвязи урожайности соломы ($r = 0,73-1,00$) и тресты ($r = 0,68-1,00$) с высотой растений. В относительно благоприятных для роста и развития растений условиях вегетационных периодов 2017 и 2020 г. возрастало влияние полевой всхожести семян на высоту растений ($r = 0,62-1,00$), урожайность соломы ($r = 0,78-1,00$), семян ($r = 0,52-0,91$).

Ключевые слова: лен, генотип, факторы среды, адаптивность, всхожесть семян, высота растений, продуктивность

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № FEWZ-2021-0007 «Адаптивная способность сельскохозяйственных растений в экстремальных условиях Северного Зауралья».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Королев К.П., Боме Н.А., Колоколова Н.Н. Фенотипическая изменчивость образцов *Linum usitatissimum* L. в условиях Северного Зауралья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):102-117. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-102-117

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-102-117

Phenotypic variability of *Linum usitatissimum* L. accessions under the conditions of the Northern Trans-Urals

Konstatin P. Korolev, Nina A. Bome, Natalya N. Kolokolova

University of Tyumen, Tyumen, Russia

Corresponding author: Konstatin P. Korolev, korolev.konstantin2016@yandex.ru

Background. One of the ways to increase flax production is to expand cropping areas, including nontraditional ones. To solve this problem, it is necessary to carefully select cultivars that can produce stable high yields and have competitive raw material quality. The aim of this study was to identify the adaptability potential of flax accessions and select sources of valuable properties for their use under the conditions of the Northern Trans-Urals.

Materials and methods. Sixty flax accessions were studied in the fields of the south of Tyumen Province in 2017–2020. Phenotypic screening was performed according to the published lists of descriptors, taking into account outdoor seed germination, plant height, seed yield, flax straw, retted stalks, and fiber. Statistical data processing included the multivariate analysis of variance and correlation analysis. Environmental screening was performed according to S. A. Eberhart, W. A. Russell.

Results and conclusion. Based on the long-term data, sources of traits were identified: 4 for outdoor seed germination, 4 for plant height, 11 for the duration of the growing season, 21 for straw yield, 19 for the yield of retted stalks, 9 for seed yield, 6 for total fiber yield, and 5 for 1000 seed weight. The manifestation of traits was shown to be largely induced by the impact of the environment factor and the complex genotype $\times$ environment interaction. On the basis of screening results, 12 accessions were selected. The correlation analysis helped to find out that on average over the years of research there were high and stable direct relationships of the yield of straw ($r = 0.73\text{--}1.00$) and retted stalks ($r = 0.68\text{--}1.00$) with plant height. Under relatively favorable conditions for plant growth and development during the growing seasons of 2017 and 2020, the influence of outdoor seed germination on plant height ($r = 0.62\text{--}1.00$), straw yield ($r = 0.78\text{--}1.00$), and seed yield ($r = 0.52\text{--}0.91$) increased.

Keywords: flax, genotype, environmental factors, adaptability, seed germination, plant height, productivity

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation: No. FEWZ-2021-0007 "Adaptability of agricultural plants under the extreme conditions of the Northern Trans-Urals".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Korolev K.P., Bome N.A., Kolokolova N.N. Phenotypic variability of *Linum usitatissimum* L. accessions under the conditions of the Northern Trans-Urals. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):102-117. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-102-117

Введение

Лен является одним из древнейших растений многоцелевого использования. В настоящее время его выращивают в Европе, Канаде, Индии, Китае, США (FAO, 2020), при этом общемировая площадь посевов составляет от 0,3 млн га (лен-долгунец) до 2,5 млн га (лен масличный). В Российской Федерации (EMISS..., 2019) посевы льна-долгунца составляют 49,7 тыс. га, из них наибольшие площади сосредоточены на территории Омской (5,2 тыс. га), Тверской (5,0 тыс. га), Смоленской (4,8 тыс. га), Вологодской (4,7 тыс. га), Нижегородской (4,5 тыс. га), Курганской (3,2 тыс. га) областей, Алтайского края (4,3 тыс. га), Удмуртской республики (4,0 тыс. га). Следует отметить, что культивированием льна также занимаются в Республике Татарстан, Республике Дагестан, Республике Марий Эл, Брянской, Ярославской, Новосибирской, Псковской, Томской, Новгородской, Волгоградской, Белгородской, Владимирской областях.

Одним из показателей, характеризующих вид, является генетическое разнообразие (Sheidai, 2008; Sheidai et al, 2013; Porokhovina et al, 2021), которое способно обеспечить необходимый генетический материал для адаптации к изменчивости биотических и абиотических факторов окружающей среды. Широкое использование морфологического скрининга сортов требует значительных затрат, так как признаки могут подвергаться действию экологических факторов (Diederichsen, 2001; Diederichsen, Raney, 2006; Saeidi, 2008). «Золотым фондом» коллекций считаются стародавние сорта и местные формы, полученные в результате длительного естественного и искусственного отбора (Zhuchenko, Rozhmina, 2000). Несомненно, ведущая роль в расширении посевов в Западной Сибири принадлежит урожайным, устойчивым к полеганию и болезням сортам льна-долгунца (Крепков, 1997). Агроклиматическое разнообразие условий Российской Федерации ставит перед селекцией задачи, направленные на создание экологически дифференцированных сортов, которые за счет повышения адаптивного потенциала и устойчивости к экстремальным факторам среды могут формировать стабильные урожаи.

Сортовой ассортимент льна-долгунца достаточно разнообразен и представлен 67 сортами, из них 11 сортов рекомендованы для выращивания в Западно-Сибирском регионе (State Register..., 2021). Следует отметить, что в Тюменской области лен-долгунец практически не выращивается, что отчасти обусловлено отсутствием современных районированных сортов с высоким потенциалом продуктивности и адаптивности к контрастным почвенно-климатическим условиям, однако при этом известно, что первые попытки выращивания льна относятся к концу XIX в. – началу XX в. (Aksarin, Korolev, 2021).

Существует связь стабильности признаков растений с их адаптивным потенциалом, который проявляется в разных условиях среды в виде различных физиологических, морфологических и других приспособительных реакций (Zhuchenko, 1980, 2000). Данных по экологическому изучению сортов, новых гибридных и мутантных форм льна-долгунца к настоящему времени получено недостаточно (Korolev, Bome, 2017; Korolev et al, 2018), что определяет актуальность исследований по подбору сортов для агроценозов северных широт, важной составляющей которых является определение вклада генотипа и условий выращивания в фенотипическую изменчивость количественных признаков.

Цель настоящего исследования – изучение реакции образцов льна на абиотические условия Северного Зауралья и выделение лучших по хозяйственно ценным признакам.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена на базе кафедры ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры Института биологии Тюменского государственного университета (ТюмГУ) в 2017–2020 гг. Полевые опыты проводили на полигоне для изучения генетического разнообразия культурных растений (биостанция ТюмГУ «Озеро Кучак», Тюменская область, Нижнетавдинский район: 57°40' с. ш. и 66°10' в. д., 57,0 м – высота над уровнем моря). Объект исследования – 60 образцов льна различного эколого-географического происхождения. Материал был представлен стародавними образцами и селекционными сортами, полученными из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) и от оригинаторов сортов льна (табл. 1).

Учетная площадь делянки – 1 м², повторность трехкратная, размещение делянок в опыте рандомизированное. Семена высевали вручную в I–II декадах мая при достижении температуры почвы 8°C на глубине 10 см. Лабораторная всхожесть семян изученных образцов составляла 92–96%. Посев выполнен под маркер из расчета 200 семян на 1 погонный метр ряда, количество рядков на делянке – 10, глубина заделки семян – 1–2 см. Почва дерново-подзолистая супесчаная с содержанием гумуса 3,67%, подвижных форм фосфора – 3434 мг/кг, обменного калия – 234,00, кальция – 3362,33, меди – 55,41, железа – 3553,51, магния – 1125,37, цинка – 402,52 мг/кг почвы. Предшественник – зерновые культуры. При появлении массовых всходов льна подсчитывали количество взшедших растений и по отношению к высеянному семенам рассчитывали полевую всхожесть (%). В фазе полного цветения измеряли высоту (от поверхности почвы до самой верхней части растения) 10 растений на каждой опытной делянке. Уборку растений льна с каждой делянки осуществляли при наступлении фазы ранней желтой спелости и оставляли в снопах на экспериментальном участке на 2–3 дня. После отделения семян от стеблей была определена урожайность соломы. Лыотресту получали методом росной мочки стеблей на травяном покрове из многолетних злаковых трав в течение 10–14 дней, при этом лыносолому дважды оборачивали. Проводили просушивание тресты и по мере ее готовности взвешивали. После очистки семян определяли их урожайность.

Описание и распределение сортов на группы по морфобиологическим показателям проводили в соответствии с методическими указаниями (Kutuzova, Pitko, 1988; Bogdan, 2011), Международным классификатором вида *Linum usitatissimum* L. (Rykova, 1989), Descriptor list for flax (*Linum usitatissimum* L.) (Nozkova, et al, 2016).

Метеорологические условия в годы проведения исследований различались по среднесуточной температуре воздуха, количеству выпавших осадков, что позволило более полно выявить потенциал изученных сортов льна. Расчет гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова (Selyaninov, 1928) показал, что условия 2018 и 2020 г. были слабозасушливыми (ГТК = 1,2 и 1,3 соответственно), 2017 и 2019 г. – влажными (ГТК = 1,5 и 1,6 соответственно).

Таблица 1. Характеристика сортов, участвовавших в исследовании**Table 1. Characteristics of the cultivars participating in the study**

Номер каталога	Название образца	Страна происхождения	Тип льна
к-5398 ☐	Велижский кряж	Россия	Лен-долгунец
к-5404 ☐	Печерский кряж	Россия	Лен-долгунец
к-6955 ☐	403-4	Россия	Лен-долгунец
к-8344 ☐	Антей	Россия	Лен-долгунец
к-8152 ☐	Прибой	Россия	Лен-долгунец
к-7962 ☐	Русич	Россия	Лен-долгунец
к-7803 ☐	Смолич	Россия	Лен-долгунец
к-7461 ☐	С-108	Россия	Лен-долгунец
к-8381 ☐	Лидер	Россия	Лен-долгунец
к-8153 ☐	Восход	Россия	Лен-долгунец
к-8411 ☐	Орион	Россия	Лен-долгунец
к-8410 ☐	Норд	Россия	Лен-долгунец
к-8504 ☐	Добрыня	Россия	Лен-долгунец
к-25 ☐	Пересвет	Россия	Лен-долгунец
к-26 ☐	Квартет	Россия	Лен-долгунец
к-7694 ☐	Томский-16	Россия	Лен-долгунец
к-8002 ☐	Томский-17	Россия	Лен-долгунец
к-8003 ☐	Томский-18	Россия	Лен-долгунец
к-8154 ☐	ТОСТ	Россия	Лен-долгунец
к-8246 ☐	ТОСТ-3	Россия	Лен-долгунец
к-8247 ☐	ТОСТ-4	Россия	Лен-долгунец
к-8560 ☐	ТОСТ-5	Россия	Лен-долгунец
к-8559 ☐	Памяти Крепкова	Россия	Лен-долгунец
к-35 ☐	Томич	Россия	Лен-долгунец
к-8172 ☐	Импульс	Россия	Лен-долгунец
к-7254 ☐	Союз	Россия	Лен-долгунец
к-7563 ☐	36.3.-4	Беларусь	Лен-долгунец
к-1 ☐	Грант	Беларусь	Лен-долгунец
к-13 ☐	Веста	Беларусь	Лен-долгунец
к-9 ☐	Ива	Беларусь	Лен-долгунец
к-68 ☐	Дукат	Беларусь	Лен-долгунец

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

Номер каталога	Название образца	Страна происхождения	Тип льна
к-2 △	Маяк	Беларусь	Лен-долгунец
к-6 △	Рубин	Беларусь	Лен-долгунец
к-8 △	Мара	Беларусь	Лен-долгунец
к-6887 ○	Ярок	Беларусь	Лен-долгунец
к-7480 □	Глінум	Украина	Лен-долгунец
к-7787 □	Зоря-87	Украина	Лен-долгунец
к-7467 □	Львівській-7	Украина	Лен-долгунец
к-7584 □	Upite-2	Литва	Лен-долгунец
к-6885 □	Ikar 332	Румыния	Лен-долгунец
к-6676 □	Karnobat-448	Венгрия	Лен-долгунец
к-8230 □	Wiko	Польша	Лен-долгунец
к-7159 □	Izolda	Польша	Лен-долгунец
к-6888 □	Betertelsdorf 6884/60	Германия	Лен-долгунец
к-8494 □	Alizee	Франция	Лен-долгунец
к-8493 □	Drakkar	Франция	Лен-долгунец
к-8288 □	Hermes	Франция	Лен-долгунец
к-6305 □	Sheyenne	США	Межеумок
к-4035 □	Ottawa 770 B	Канада	Межеумок
к-55 △	Suzanne	Нидерланды	Лен-долгунец
к-8345 □	Marylin	Нидерланды	Лен-долгунец
к-6707 □	Tammes v(2-69)	Нидерланды	Лен-долгунец
к-6656 □	Svalof 0232	Швеция	Лен-долгунец
к-7706 □	Currong	Австралия	Лен-долгунец
к-6746 □	Aoyagi	Япония	Лен-долгунец
к-42 △	Honkei 41	Япония	Лен-долгунец
к-6965 □	Comun del Peru L5	Перу	Лен-долгунец
к-5506 □	Luzacija	Чехия	Лен-долгунец
к-8288 □	Texa	Чехия	Лен-долгунец
к-6907 □	4.911-4.-1.8	Аргентина	Лен-долгунец

Примечание: номер каталога: □ – ВИР; △ – ВНИИЛ; ○ – Институт биологии ТюмГУ

Note: catalogue number: □ – VIR; △ – Research Institute of Flax; ○ – Institute of Biology, University of Tyumen

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием общепринятой методики полевого опыта Б. А. Доспехова (Dospikhov, 2014.), расчет экологических показателей (b , S^2d) осуществляли по методу S. A. Eberhart, W. A. Russell (1966).

Результаты и обсуждение

Одним из показателей, отражающих потенциал сорта при интродукции, является полевая всхожесть семян. Факторы, оказывающие влияние на данный критерий, многогранны. Для формирования оптимального числа всходов в полевых условиях необходимы семена с хорошей лабораторной всхожестью, также необходимо учитывать почвенно-климатические условия, биологические особенности растений. При этом немаловажна роль генотипа и его взаимодействия с окружающей средой (Kurt, 2010).

Продолжительность вегетационного периода изменялась по образцам за годы исследований от 77 до 90 суток при среднем значении 80 суток. В коллекции к раннеспелым было отнесено 11 образцов (18,3%), среднеспелым – 38 (63,4%), позднеспелым – 11 (18,3%) образцов. Раннеспелая группа представлена образцами: Печерский кряж (к-5404), Велижский кряж (к-5398), 'Восход' (к-8153), 'Маяк' (к-2 ВНИИЛ), 'Рубин' (к-6 ВНИИЛ), 'Томский-16' (к-7694), 'Тост-4' (к-8247), 'Памяти Крепкова' (к-8559), 'Karnobat-448' (к-6676), 'Ikar 332' (к-6885), 'Betertelsdorf 6884/60' (к-6888) со средним периодом вегетации данной группы 77 суток.

В таблице 2 представлено распределение изученных образцов льна на группы по уровню фенотипического проявления количественных признаков. На показатели, характеризующие способность семян к прорастанию, существенное влияние оказывали особенности генотипов и условия вегетационных периодов. В полевом опыте первые всходы льна-долгунца отмечали на третьи – пятые сутки, массовые – на седьмые – девятые. В среднем за годы исследования по изученным генотипам полевая всхожесть семян составляла 59,8%. Максимальные значения признака отмечали у образцов Велижский кряж, '403-4' (к-6955), Печерский кряж, 'Томский-18' (к-8003), 'Рубин': 70,4%; 70,6%; 71,2%; 71,2% и 71,4% соответственно. Следует отметить, что в 2018 г. установлена самая низкая полевая всхожесть, что связано прежде всего с пониженной температурой воздуха (на 3,1–5,3°C ниже нормы) и недостатком влаги (7,2–54,0% к норме) в период прорастания семян и появления всходов. По усредненным данным, генотипы были условно распределены на две группы: с низкой (< 60,0%) и средней (60,0–80,0%) полевой всхожестью семян, в которые вошли 26 и 34 образца соответственно.

Высота растений является одним из признаков, имеющих большое значение при создании высоковолокнистых сортов льна-долгунца. Климатические факторы и сортовые особенности могут оказывать влияние на данный показатель. По нашим данным, в годы исследования признак был относительно стабильным и составлял в среднем 89,3 см (2020 г.) – 86,5 см (2018 г.) Выделено 3 группы образцов по общей высоте растений: низкие (68,0–84,3 см) – 20, средние (84,5–101,4 см) – 37, высокие (102,5–103,9 см) – 3, при этом 5,0% генотипов было отнесено к группе высоких и 61,7% – средних растений. Из высокорослых следует отметить 'Wiko' (к-8230) – 102,5 см, 'Ива' (к-9 ВНИИЛ) – 103,2 см, 'Alizee' (к-8494) – 103,9 см (см. табл. 2).

Главной характеристикой, определяющей ценность каждого сорта, является продуктивность. У льна-долгунца основными показателями являются: урожайность соломы, тресты, волокна, семян, на которые оказывают воздействие факторы различной природы.

Выявлено влияние продолжительности вегетационного периода, сортовых особенностей (Zajas et al., 2005), густоты стояния растений (Zubal, 2012), общего количества коробочек на растении и их обсеменности (Witkovich et al., 2005) на конечную продуктивность растений и дальнейшее практическое использование льна.

В соответствии с Международным классификатором вида *Linum usitatissimum* L. (Rykova, 1989) для характеристики сортов по фенотипическим признакам используют процентное соотношение показателей каждого испытуемого сорта и стандартов. В связи с тем, что в настоящее время в Тюменской области нет районированных сортов льна, мы в качестве стандарта использовали среднее значение признака по изученному набору генотипов. Такой подход позволил выявить образцы (по отношению к условному стандарту) с очень низкой (36,6–64,2%), низкой (66,0–85,5%), средней (88,2–105,0%), высокой (106,8–112,6 %), очень высокой (116,1–178,5%) урожайностью семян. Наибольший интерес для селекционных программ и внедрения в практику представляют 19 генотипов, характеризующихся высокими показателями семенной продуктивности.

Полиморфизм вида льна отчасти может быть расширен селективным воздействием (Крепков, 2004). Урожайность соломы составляла от 137,4 г/м² в 2020 г. до 456,2 г/м² в 2019 г. На основе расчетного показателя отношения урожайности каждого образца к средней по коллекции выделено 5 групп (см. табл. 2). В группы с очень низкой (54,0–65,0%) и низкой (66,0–85,0%) урожайностью вошли 11 и 21 образец соответственно. Высокими (109,9–120,0%) и очень высокими (123,0–160,9%) показателями характеризовались 17, остальные 11 образцов были в группе со средней (87,6–103,8%) урожайностью.

Из высокопродуктивных образцов следует назвать 'Восход', 'Wiko', 'Грант' (к-1 ВНИИЛ), 'Мара' (к-8 ВНИИЛ), 'Alizee', 'Drakkar' (к-8493), 'Памяти Крепкова', 'Импульс' (к-8172), 'Тост-3' (к-8246), 'Тост-5' (к-8560), 'Томич' (к-35 ВНИИЛ), 'Marylin' (к-8345), 'Антей' (к-8344), 'Русич' (к-7962), 'Suzanne' (к-55 ВНИИЛ), 'Томский-17' (к-8002), 'ТОСТ' (к-8154), 'Тост-4', 'Томский-16', 'Глнум' (к-7480), 'Томский-18' с урожайностью в пределах от 287,2 до 412,9 г/м².

Урожайность тресты является критерием, связанным с продуктивностью и качеством получаемого волокна, что вызывает необходимость оценки генотипов по данному показателю. Средняя урожайность тресты изученных образцов составила 251,3 г/м² при минимальном значении 134,6 г/м² (к-6305 'Sheyenne') и максимальном – 430,2 г/м² ('Глнум').

Согласно результатам оценочной группировки, выявлены 9 образцов с очень низкой (53,6–64,0%), 21 – низкой (66,2–85,5%), 11 – средней (86,4–103,5%), 13 – высокой (107,1–115,5%), 6 – очень высокой (118,6–171,2%) урожайностью тресты (см. табл. 2). Из наиболее продуктивных следует отметить 'Marylin', 'Рубин', 'Тост-3', 'Маяк', 'Тост-5', 'Русич', 'Импульс', 'Томич', 'Грант', 'Мара', 'Антей', 'Тост-4', 'Suzanne', 'ТОСТ', 'Томский-17', 'Alizee', 'Томский-16', 'Томский-18', 'Глнум' с урожайностью 298,0–430,2 г/м².

В результате скрининга коллекции образцы распределены на пять групп по урожайности всего волокна:

Таблица 2. Распределение образцов льна на группы по некоторым селекционно ценным признакам (среднее, 2017–2020 гг., Тюмень)
Table 2. Group distribution of flax accessions according to the studied indicators (average, 2017–2020, Tyumen)

Группа	Полевая всхожесть семян, %	Высота растений, см	Урожайность, г/м ²			
			солома	треста	волокно	семена
1	< 60,0% n = 26 С-108, Импульс, Лидер, Орион, Ikar 332, Союз, Норд, Drakkar, Ива, Тост-5, Восход, Прибой, Suzanne, 4.911-4.-1.8, Tammes v(2-69), Тост-4, Comun del Peru L5, Смолич, Зоря-87, Wiko, Тост-3, Sheyenne, Honkei 41, Томич, Karnobat-448, Дукаг	< 65,0–75,0% к условному стандарту n = 0	< 65,0–75,0% к условному стандарту n = 11 Печерский кряж, Велижский кряж, 403-4, Luzaciya, Sheyenne, Лидер, Tammes v(2-69), Ikar 332, Смолич, Ottava 770 B See, Comun del Peru L5	< 65,0–75,0% к условному стандарту n = 9 Sheyenne, Велижский кряж, Печерский кряж, Tammes v(2-69), Смолич, Лидер, 403-4	< 65,0–75,0% к условному стандарту n = 9 Tammes v(2-69), Печерский кряж, Ikar 332, Смолич, Лидер, 403-4, Sheyenne, Велижский кряж	< 65,0–75,0% к условному стандарту n = 17 Мара, Wiko, Смолич, Норд, 4.911-4.-1.8, Ярок, Engel

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continued

Группа	Полевая всхожесть семян, %	Высота растений, см	Урожайность, г/м ²			
			солома	треста	волокно	семена
2	60,0-80,0 n = 34 Alizee, Рубин, Грант, Русич, Веста, Маяк, Памяти Крепкова, Квартет, Luzaciја, Антей, Добрыня, Engelum 51 УП, Аюаги, Karnobat-448, Urite-2, Пересвет, Томский-17, Теха, Svalof 0232, Ottava 770 В See, Глинуи, Marylin, 36.3.-4, Ярок, Currong, Hermes, Томский-16, Велижский кряж, 403-4, Печерский кряж, Томский-18, Львовский-7 ТОСТ Betertelsdorf 6884/60 Izolda	76,0-95,0% к условному стандарту n = 20 Томский-16, Томский-17, ТОСТ, Антей, ТОСТ-3, Тост-4, Аюаги, Karnobat-448, Пересвет, Добрыня, Квартет, Орион, Теха, Sheyenne, Luzaciја, 4.911-4.-1.8, 403-4, Норд, Comun del Peru L5, Tammes v(2-69)	76,0-95,0% к условному стандарту n = 21 Аюаги, Karnobat-448, Пересвет, Добрыня, Квартет, Теха, 4.911-4.-1.8, Норд, Honkei 41, Currong, Hermes, Svalof 0232, Engelum 51 УП, Веста, Дукат, Betertelsdorf 6884/60, 36.3.-4, C-108, Львовский-7, Ярок	76,0-95,0% к условному стандарту n = 21 Аюаги, Karnobat-448, Пересвет, Добрыня, Квартет, Теха, 4.911-4.-1.8, Норд, Honkei 41, Hermes, Союз, Engelum 51 УП, Ikar 332, Веста, Дукат, Betertelsdorf 6884/60, C-108, Львовский-7, Ярок, Ottava 770 В See, Comun del Peru L5, Прибой	76,0-95,0% к условному стандарту n = 21 Аюаги, Karnobat-448, Пересвет, Добрыня, Квартет, Теха, 4.911-4.-1.8, Норд, Honkei 41, Currong, Hermes, Svalof 0232, Союз, Engelum 51 УП, Веста, Дукат, Betertelsdorf 6884/60, 36.3.-4, C-108, Львовский-7, Ярок	76,0-95,0% к условному стандарту n = 8 Лидер, Currong, Дукат, Импульс, Квартет, Велижский кряж, Hermes, Tammes v(2-69)

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continued

Группа	Полевая всхожесть семян, %	Высота растений, см	Урожайность, г/м ²			
			солома	треста	волокно	семена
3	81-90% n = 0	96,0-115,0% n = 37 Велижский кряж, Nonkei 41, Томич, Curtong, Hermes, Ottawa 770 В See, Svalof 0232, Izolda, Тост-5, Союз, Biei Shinshu, Прибой, Памяти Крепкова, Смолич, Engelum 51 УП, Веста, Печерский кряж, Импульс, Томский-18, Ikar 332, Дукал, Betertelsdorf 6884/60, 36.3.-4, Русич, Лидер, Восход, С-108, Зоря-87, Drakkar, Маяк, Львівський-7, Suzanne, Marylin, Рубин, Грант, Мара, Ярок, Urite-2, Гліну́м	96,0-115,0% n = 11 Ива, Прибой, Рубин, Маяк, Орион, Urite-2, Зоря-87, Грант, Восход, Мара, Wiko	96,0-115,0% n = 11 Curtong, 36.3.-4, Wiko, Urite, Svalof 0232, Орион, Зоря-87, Ива, Izolda, Восход, Drakkar, Памяти Крепкова	96,0-115,0% n = 12 Русич, Ива, Прибой, Рубин, Маяк, Орион, Urite-2, Зоря-87, Грант, Восход, Мара, Wiko	96,0-115,0% n = 16 Sheyenne, Тост-5, Ottawa 770 В See, Маяк, Alizee, Luzaciya, Прибой, С-108, Рубин, Izolda, Печерский кряж, Аюагі, Тост-3, Karnobat-448, Веста, Добрыня, Орион

Таблица 2. Окончание
Table. 2. The end

Группа	Полевая всхожесть семян, %	Высота растений, см	Урожайность, г/м ²			
			солома	треста	волокно	семена
4	91,0-100% n = 0	116,0-135,0% n = 3 Wilko, Alizee, Ива	116,0-135,0% n = 12 Alizee, Drakkar, Памяти Крепкова, Тост-3, Тост-5, Томский-17, Антей, Томич, Русич, Suzanne, Импульс, Marylin, Izolda	116,0-135,0% n = 13 Marylin, Рубин, Тост-3, Маяк, Тост-5, Русич, Импульс, Томич, Грант, Мара, Антей, Suzanne, Тост-4	116,0-135,0% n = 12 Alizee, Drakkar, Памяти Крепкова, Тост-3, Тост-5, Томский-17, Антей, Томич, Русич, Suzanne, Импульс, Marylin	116,0-135,0% n = 12 Тост-4, Русич, Грант, ТОСТ, Союз, Восход, Зоря-87, Томич, Памяти Крепкова, Томский-17, Львівський-7, Антей
5	-	> 135,0% n = 0	> 135,0% n = 5 Томский-16, ТОСТ, Тост-4, Томский-18, Глнум	> 135,0% n = 6 ТОСТ, Томский-17, Alizee, Глнум, Томский-18, Томский-16	> 135,0% n = 6 ТОСТ, Томский-16, Alizee, Томский-17, Томский-18, Глнум	> 135,0% n = 7 Svalof 0232, Томский-16, Marylin, Suzanne, Drakkar, Betertelsdorf 6884/60, Izolda, Томский-18

Примечание: группы по уровню признака: 1 – очень низкий; 2 – низкий; 3 – средний; 4 – высокий; 5 – очень высокий; номер каталога каждого сорта приведен в таблице 1

Note: groups by the character level: 1 – very low; 2 – low; 3 – medium; 4 – high; 5 – very high; the catalogue number of each cultivar may be found in Table 1

очень низкая (15,0%), низкая (35,0%), средняя (20,0%), высокая (20,0%), очень высокая (10,0%). Практическую ценность могут иметь 'ТОСТ', 'Томский-16', 'Alizee', 'Томский-17', 'Томский-18', 'Глунум'.

Образцы отнесены в группы с мелкими (3,6–5,5 г) и средними (5,6–8,9 г) семенами по массе 1000 шт. При этом в условиях 2017 г. изменчивость признака составляла от $4,1 \pm 0,33$ г (Печерский кряж) до $5,5 \pm 0,46$ г (к-13 ВНИИЛ 'Веста'). В 2018 г. масса 1000 семян находилась в пределах $4,2 \pm 0,18$ г ('Маяк') – $5,6 \pm 0,94$ г (к-4035 'Ottawa 770 B See'); 2019 г.: $4,5 \pm 0,22$ г ('Восход') – $5,1 \pm 0,33$ г ('Suzanne'); 2020 г.: $4,3 \pm 0,10$ г (к-8410 'Норд') – $5,0 \pm 0,61$ г ('403-4') при среднем популяционном значении 4,8 г, 4,6 г, 4,8 г, 4,6 г соответственно. В качестве источников признака можно рекомендовать 'Betertelsdorf 6884/60', 'Грант', 'Alizee', 'Ottawa 770 B See', 'Веста'.

Для решения задач экологической селекции необходимо при отборе учитывать адаптивную способность и стабильность генотипов в различных средах, проводить оценку сред по их пригодности в качестве фона для отбора (Zhuchenko, 1980). При этом важно установление вклада генотип-средовых взаимодействий (Kilchevsky, Khotyleva, 1997).

На основании многофакторного дисперсионного анализа установлено достоверное ($F_{\text{факт.}} > F_{0,05}$ и $F_{0,01}$) влияние факторов на изучаемые признаки (табл. 3). От условий окружающей среды в большей степени зависели высота растения, урожайность соломы, тресты, семян, от взаимодействия генотипа с окружающей средой – полевая всхожесть семян, от генотипических особенностей образцов – урожайность семян и соломы. Важную роль в адаптивной селекции имеет формирование эколого-генетических основ адаптивного потенциала сельскохозяйственных растений, определение направлений их использования (Zhuchenko, 2008).

Экологическую пластичность следует рассматривать как способность растений реагировать на изменчивость условий выращивания (Eberhart, Russell, 1966). На основании расчета коэффициента регрессии выделяют сорта интенсивного ($b_i < 1$) и нейтрального типа ($b_i > 1$). Коэффициент регрессии, равный или больше единицы, говорит о высокой отзывчивости и пластичности сорта, значение меньше нуля или приближенное к нулю позволяет сделать вывод о низкой адаптивности к изменениям окружающей среды.

Нами были выявлены несколько групп сортов по отзывчивости на факторы окружающей среды (табл. 4). В первую группу ($b_i < 1$, $S^2 d_i = 0$) вошли нестабильные генотипы, проявляющие максимальный потенциал в неблагоприятных условиях выращивания, из которых нужно отметить следующие образцы: 'Прибой' (к-8152), 'Орион' (к-8411), 'Норд', 'Импульс', 'С-108' (к-7461), 'Лидер' (к-8381), 'Ива', 'Drakkar', 'Львовский-7' (к-7467) (по полевой всхожести семян); 'Орион', '403-4', 'Таммес v(2-69)' (к-6707), 'Пересвет' (к-25 ВНИИЛ) (по высоте растения); 'Sheyenne', Печерский кряж, Велижский кряж, '403-4' (по урожайности семян); 'Luzacija' (к-5506), 'Sheyenne', Печерский кряж, Велижский кряж, '403-4', 'Таммес v(2-69)', 'Лидер' (по урожайности тресты); 'Лидер', 'Смолич' (к-7803), 'Sheyenne', '403-4', 'Таммес v(2-69)', 'Luzacija', 'Ottawa 770 B See', Печерский кряж, Велижский кряж, 'Hermes' (к-8288), 'Ikar 332' (к-6885) (по урожайности соломы); образцы 'Sheyenne', Печерский кряж, '403-4', Велижский кряж, 'Luzacija', 'Таммес v(2-69)', 'Лидер', 'Смолич', 'Engelum 51 УП' (к-6930), 'Comun del Peru L5' (к-6965), 'Норд', 'Союз' (к-7254), 'Львовский-7', 'Honkei 41' (к-42 ВНИИЛ), 'Теха' (к-8228), 'Добрыня' (к-8504), '4.911-4.-1.8' (к-6907), 'Izolda' (к-7159) 'Ottawa 770 B See', 'Aoyagi' (к-6746), 'Hermes', 'Квартет' (к-26 ВНИИЛ), 'Karnobat-448', 'С-108', 'Веста', 'Прибой', 'Пере-

Таблица 3. Результаты дисперсионного анализа по определению вклада отдельных факторов и их взаимодействия в фенотипическую изменчивость признаков льна, 2017–2020 гг., Тюмень

Table 3. Results of the analysis of variance for individual contributions of the factors and their interaction to the phenotypic variability of flax characters, 2017–2020, Tyumen

Источник варьирования	Число степеней свободы (d.f.)	Средний квадрат (M.S.)	Критерий Фишера			Доля влияния фактора, %
			F _{факт.}	F _{0,05}	F _{0,01}	
Полевая всхожесть семян						
Фактор А (генотип)	59	246,11	12,62**	1,48	1,73	19,11
Фактор Б (окружающая среда)	3	4043,22	207,45**	2,70	3,98	26,15
Взаимодействие факторов (А × Б)	116	8721,11	447,46*	1,39	1,59	46,44
Случайный фактор (С)	118	19,49	–	–	–	8,3
Высота растения						
Фактор А (генотип)	59	567,23	4,51	1,48	1,73	19,15
Фактор Б (окружающая среда)	3	2113,51	16,81**	2,70	3,98	42,22
Взаимодействие факторов (А × Б)	116	1345,66	10,70**	1,39	1,59	36,08
Случайный фактор (С)	118	125,66	–	–	–	2,55

Таблица 3. Окончание

Table 3. The end

Источник варьирования	Число степеней свободы (d.f.)	Средний квадрат (M.S.)	Критерий Фишера			Доля влияния фактора, %
			F _{факт.}	F _{0,05}	F _{0,01}	
Урожайность соломы						
Фактор А (генотип)	59	1234,54	2,17**	1,48	1,73	25,62
Фактор Б (окружающая среда)	3	2456,92	4,32**	2,70*	3,98	42,09
Взаимодействие факторов (А × Б)	116	1568,34	2,76**	1,39	1,59	31,21
Случайный фактор (С)	118	567,45	-	–	–	1,17
Урожайность тресты						
Фактор А (генотип)	59	894,52	1,95**	1,48	1,73	12,32
Фактор Б (окружающая среда)	3	3234,14	7,07**	2,70	3,98	65,19
Взаимодействие факторов (А × Б)	116	987,35	2,16**	1,39	1,59	19,44
Случайный фактор (С)	118	456,81	–	–	–	3,05
Урожайность семян						
Фактор А (генотип)	59	3456,13	27,84	1,48	1,73	30,04
Фактор Б (окружающая среда)	3	8934,55	71,99**	2,70	3,98	53,18
Взаимодействие факторов (А × Б)	116	1009,43	8,13*	1,39	1,59	15,67
Случайный фактор (С)	118	124,10	–	–	–	1,11
Урожайность всего волокна						
Фактор А (генотип)	59	2891,1	4,17**	1,48	1,73	20,81
Фактор Б (окружающая среда)	3	3076,1	4,44**	2,70	3,98	50,22
Взаимодействие факторов (А × Б)	116	1534,0	2,20**	1,39	1,59	28,97
Случайный фактор (С)	118	696,2	–	–	–	–

Таблица 4. Распределение образцов льна на группы по отзывчивости на изменчивость условий выращивания, 2017–2020 гг., Тюмень

Table 4. Group distribution of flax accessions according to their response to the variability of growing conditions, 2017–2020, Tyumen

Экологическая группа	Полевая всхожесть семян, %		Высота растений, см		Урожайность, г/м ²							
					солома		семена		треста		волокно	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
$b_i < 1, S^2 d_i = 0$	24	40,0	25	41,7	35	58,3	28	46,7	33	55,0	33	10,0
$b_i = 1, S^2 d_i = 0$	1	1,6	4	6,6	0	0,0	0	0,0	1	1,6	1	1,6
$b_i > 1, S^2 d_i = 0$	35	58,4	31	51,7	25	41,7	32	53,3	26	43,4	26	43,4

свет', 'Ярок' (к-6887 ТюмГУ), 'Betertelsdorf 6884/60', 'Currong (к-7706), '36.3.-4' (к-7563), 'Upite-2' (к-7584) (по урожайности всего волокна).

Вторая группа ($b_1 = 1$, $S^2d_1 = 0$) включала стабильные генотипы с максимальным уровнем проявления признака в неблагоприятных условиях среды. По полевой всхожести семян сюда отнесен 'Грант', по высоте растения – 'Ottawa 770 B See', 'Svalof 0232' (к-6656), 'Тост-5'; по урожайности тресты и всего волокна – 'Wiko'.

В третью группу сортов ($b_1 > 1$, $S^2d_1 = 0$), характеризующихся нестабильностью, высокой отзывчивостью на изменения условий среды, включены образцы 'Русич', 'Антей', 'Квартет', 'Памяти Крепкова', 'Львівський-7', 'Luzacija', 'Маяк', 'Мара', 'Веста' (полевая всхожесть семян); 'Прибой', 'Памяти Крепкова', 'Engelum 51 УП', 'Смолич', 'Печерский кряж', 'Веста' (высота растения); 'Karnobat-448', 'Тост-3', 'Aoyagi' (урожайность семян); 'Upite-2', 'Маяк', 'Зоря-87' (к-7787), 'Орион', (урожайность соломы); 'Svalof 0232', 'Орион', 'Зоря-87', 'Ива', 'Восход', 'Drakkar', 'Памяти Крепкова', 'Marylin', 'Рубин', 'Тост-3', 'Маяк', 'Тост-5', 'Русич', 'Импульс', 'Томич', 'Грант', 'Мара', 'Антей', 'Suzanne', 'Тост-4', 'ТОСТ', 'Томский-17', 'Alizee', 'Глінум', 'Томский-16', 'Томский-18' (урожайность тресты); образцы 'Svalof 0232', 'Орион', 'Зоря-87', 'Ива', 'Восход', 'Drakkar', 'Памяти Крепкова', 'Marylin', 'Рубин', 'Тост-3', 'Маяк', 'Тост-5', 'Русич', 'Импульс', 'Томич', 'Грант', 'Мара', 'Антей', 'Тост-4', 'Suzanne', 'ТОСТ', 'Томский-17', 'Alizee', 'Томский-16', 'Томский-18', 'Глінум' (урожайность всего волокна).

С целью выявления генотипов, обладающих комплексом хозяйственно ценных признаков, использовали метод баллового ранжирования. Каждый из сортов получал определенный балл в зависимости от значения признака от минимального (1 балл) к максимальному (60 баллов, что соответствует количеству изученных образцов). По сумме баллов оцениваемых признаков выполнялось ранжирование сортов (табл. 5). Средний балл составил 228,9 для сортов первого ранга, 152,8 и 74,9 – для сортов второго и третьего рангов.

По итогам ранжирования максимальную сумму баллов набрали 20,0% образцов, которые можно рекомендовать для использования в качестве исходного материала

в селекции; 60,0% образцов занимали промежуточное положение, а 20,0% проявили положительные свойства по отдельным признакам. Высокая оценка генотипов первого ранга формировалась в 75,0% случаев за счет показателей полевой всхожести семян, 66,6% – урожайности тресты и высоты растения, 46,6% – урожайности соломы, 41,6% – урожайности семян.

Многочисленная группа второго ранга отличалась средним уровнем проявления признаков при относительно значительном разбросе баллов по образцам. Например, по урожайности тресты максимум баллов набрали лишь 5,5%, соломы – 8,3%, семян – 16,6%. Генотипы, отнесенные в третий ранг, характеризовались низкими продуктивными и адаптивными свойствами, но могут быть использованы в качестве родительских компонентов в скрещиваниях для улучшения отдельных признаков.

Корреляционный анализ может быть использован в качестве инструментария получения информации о влиянии элементов урожайности. Разнообразие сведений о генетических корреляциях не всегда позволяет выявить полноценную картину взаимосвязей, особенно при значимом воздействии отдельного фактора. Например, известно о достоверном влиянии на продуктивность некоторых морфологических признаков льна (El-Hariri et al., 2004; Copur, 2006; Brutch, Porokhvinova, 2011).

Для выявления взаимосвязей между фенотипическими признаками, определяющими продуктивность растений льна, был проведен корреляционный анализ и построены плеяды (рисунок). За период 2017–2020 гг. были обнаружены высокие и стабильные достоверные прямые взаимосвязи урожайности соломы и тресты с высотой растений. Связи между урожайностью соломы и семян были средними обратными, при этом отмечено усиление сопряженности в условиях засушливого 2018 г. В относительно благоприятных для роста и развития растений условиях вегетационных периодов 2017 и 2020 г. возрастала зависимость высоты растений, урожайности соломы, тресты и семенной продуктивности от полевой всхожести семян.

Таблица 5. Результаты баллового ранжирования сортов льна-долгунца по комплексу селекционно ценных признаков, 2017–2020 гг., Тюмень

Table 5. Results of score ranking of fiber flax cultivars according to a set of traits valuable for breeding, 2017–2020, Tyumen

Сумма баллов	Ранг	Сорт
201–273	1	n = 12 Томский-16, Томский-17, Томский-18, Marylin, Alizee, Глінум, Suzanne, Рубин, Русич, Грант, Мара, ТОСТ
102–199	2	n = 36 Восход, Антей, ТОСТ-3, Памяти Крепкова, Дукач, Томич, Импульс, Зоря-87, Drakkar, Львівський-7, Upite-2, Betertelsdorf 6884/60, Ива, Svalof 0232, 36.3.-4, Ярок, Currong, Izolda, Тост-4, Тост-5, Ottava 770 B See, Прибой, Aoyagi, Веста, Hermes, Печерский кряж, С-108, Karnobat-448, Пересвет, Маяк, Добрыня, Engelum 51 УП, Квартет, Союз, Орион, Велижский кряж
50–95	3	n = 12 Теха, Honkei 41, Sheyenne, Luzacija, Ikar 332, Смолич, Лидер, 4.911-4.-1.8, 403-4, Норд, Comun del Peru L5, Tammes v(2-69)

Примечание: номер каталога каждого сорта приведен в таблице 1

Note: the catalogue number of each cultivar may be found in Table 1

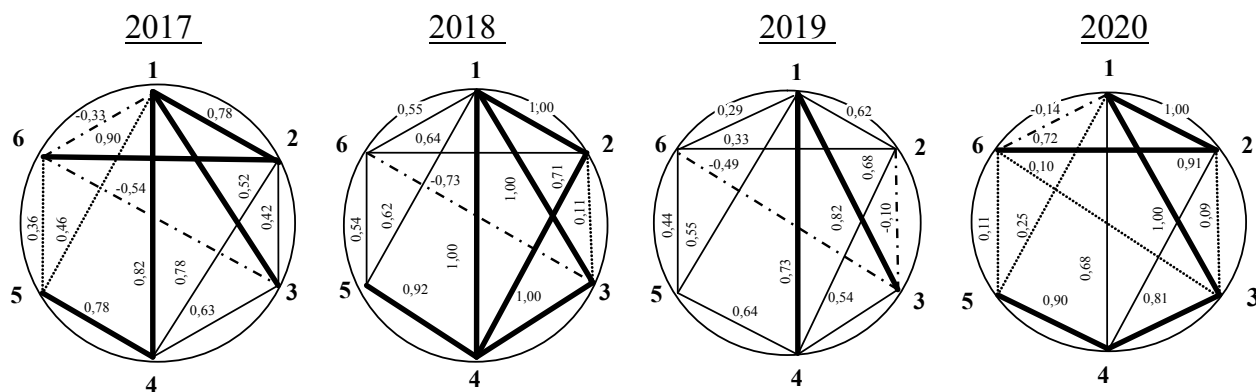


Рисунок. Корреляционные плеяды признаков у образцов коллекции льна в различные годы изучения (среднее, 2017–2020 гг., Тюмень):

1 – высота растений, 2 – полевая всхожесть семян, 3 – урожайность соломы, 4 – урожайность тресты, 5 – урожайность всего волокна, 6 – урожайность семян. Сила связи между признаками: — сильная ($r = 0,7-0,9$); — средняя ($r = 0,5-0,7$); слабая ($r = 0,5-0,3$); - . - . обратная ($r = -0,1...-0,9$)

Figure. Correlation pleiades of traits in the accessions from the flax collection in different years of study (average, 2017–2020, Tyumen):

1 – plant height, 2 – outdoor seed germination, 3 – yield of straw, 4 – yield of retted stalks, 5 – total fiber yield, 6 – seed yield. The strength of the relationship between characters: — strong ($r = 0.7-0.9$); — medium ($r = 0.5-0.7$); weak ($r = 0.5-0.3$); - . - . reverse ($r = -0.1...-0.9$)

Подобные результаты по характеру корреляционных связей между признаками приведены в работах других исследователей (Tadesse et al., 2009; Kumar, 2016).

Заключение

На основании анализа многолетних данных (2017–2020 гг.) установлено, что на уровень фенотипического проявления селекционно ценных признаков существенное влияние оказывают контрастные условия окружающей среды, а также их взаимодействие с генотипом. Выделены источники ценного исходного материала по следующим признакам:

- полевая всхожесть семян – ‘Томский-18’ (к-8003), ‘Рубин’ (к-6 ВНИИЛ), Велижский кряж (к-5398), Печерский кряж (к-5404),
- высота растения – ‘Глїнум’ (к-7480), ‘Wiko’ (к-8230), ‘Ива’ (к-9 ВНИИЛ), ‘Alizee’ (к-8494), урожайность семян – ‘Грант’ (к-1 ВНИИЛ), ‘Betertelsdorf 6884/60’ (к-6888), ‘Svalof 0232’ (к-6656), ‘Томский-16’ (к-7694), ‘Томский-17’ (к-8002), ‘Comun del Peru L5’ (к-6965), ‘Drakkar’ (к-8493), ‘Sheyenne’ (к-6305), ‘Suzanne’ (к-55);
- урожайность соломы – ‘Восход’ (к-8153), ‘Wiko’, ‘Грант’, ‘Мара’ (к-8 ВНИИЛ), ‘Alizee’, ‘Drakkar’, ‘Памяти Крепкова’ (к-8559), ‘Импульс’ (к-8172), ‘ТОСТ-3’ (к-8246), ‘ТОСТ-5’ (к-8560), ‘Томич’ (к-35 ВНИИЛ), ‘Marylin’ (к-8345), ‘Антей’ (к-8344), ‘Русич’ (к-7962), ‘Suzanne’, ‘Томский-17’, ‘ТОСТ’ (к-8154), ‘ТОСТ-4’ (к-8247), ‘Томский-16’, ‘Глїнум’, ‘Томский-18’);
- урожайность тресты – ‘Marylin’, ‘Рубин’, ‘ТОСТ-3’, ‘Маяк’ (к-2 ВНИИЛ), ‘ТОСТ-5’, ‘Русич’, ‘Импульс’, ‘Томич’, ‘Грант’, ‘Мара’, ‘Антей’, ‘ТОСТ-4’, ‘Suzanne’, ‘ТОСТ’, ‘Томский-17’, ‘Alizee’, ‘Томский-16’, ‘Томский-18’, ‘Глїнум’;
- урожайность общего волокна – ‘ТОСТ’, ‘Томский-16’, ‘Alizee’, ‘Томский-17’, ‘Томский-18’, ‘Глїнум’;
- масса 1000 семян – ‘Betertelsdorf 6884/60’, ‘Грант’, ‘Alizee’, ‘Ottava 770 В See’ (к-4035), ‘Веста’ (к-13).

Лучшим сочетанием изучаемых признаков в одном генотипе характеризовались сорта ‘Томский-16’, ‘Том-

ский-17’, ‘Томский-18’, ‘Marylin’, ‘Alizee’, ‘Глїнум’, ‘Suzanne’, ‘Рубин’, ‘Русич’, ‘Грант’, ‘Мара’, ‘ТОСТ’.

Экологическая оценка образцов льна позволила установить вклад генотипа и генотип-средовых взаимодействий на реализацию ответных реакций. В каждой из сформированных групп выявлены генотипы льна с различной степенью отзывчивости, среди них – ‘Грант’, ‘Ottava 770 В See’, ‘Svalof 0232’ (к-6656), ‘ТОСТ-5’, ‘Wiko’ – характеризовались стабильным проявлением количественных признаков в меняющихся условиях окружающей среды.

Выявленные достоверные корреляционные взаимосвязи между морфобиологическими признаками можно рассматривать в качестве маркерных при оценке и создании нового исходного материала для селекционной работы на продуктивность льна в условиях Северного Зуралья.

References / Литература

- Aksarin V.V., Korolev K.P. Flax growing in Tyumen region: history of formation and development in XX century. *Nauchnyi dialog = Scientific Dialogue*. 2021;(7):341-358. [in Russian] (Аксарин В.В., Королёв К.П. Льноводство Тюменской области: история становления и развития в XX веке. *Научный диалог*. 2021;(7):341-358). DOI: 10.24224/2227-1295-2021-7-341-358
- Bogdan V.Z. (ed.). Guidelines for the study of the flax collection (*Linum usitatissimum* L.) (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu kollektsii lna [*Linum usitatissimum* L.]). Ustye: Institute of Flax; 2011. [in Russian] (Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.) / под ред. В.З. Богдана. Устье: Институт льна; 2011).
- Brutch N.B., Porokhovina E.A. Links between the morphological and agronomic characters in hybrids of lines with different manifestation of these traits. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2011;167:78-89. [in Russian] (Бреч Н.Б., Пороховина Е.А. Связи морфологических

- и хозяйственно-ценных признаков у гибридов между линиями льна, контрастными по этим характеристикам. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2011;167:78-89).
- Copur O., Gur M.A., Karakus M., Demirel U. Determination of correlation and path analysis among yield components and seed yield in oil flax varieties (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Biological Sciences*. 2006;6(4):738-743. DOI: 10.3923/jbs.2006.738.743
- Diederichsen A. Comparison of genetic diversity of flax (*Linum usitatissimum* L.) between Canadian cultivars and a world collection. *Plant Breeding*. 2001;120(4):360-362. DOI: 10.1046/j.1439-0523.2001.00616.x
- Diederichsen A., Raney J.P. Seed colour, seed weight and seed oil content in *Linum usitatissimum* L. accessions held by Plant Gene Resources of Canada. *Plant Breeding*. 2006;125(4):372-377. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2006.01231.x
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Методика полевого опыта [с основами статистической обработки результатов исследований]). 5th ed. Moscow: Alyans; 2014 [in Russian] (Доспихов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Альянс; 2014).
- Eberhart S.A., Russel W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
- El-Hariri D.M., Hassanein M.S., El-Sweify A.H.H. Evaluation of some flax genotypes straw yield, yield components and technological characters. *Journal of Natural Fibers*. 2004;1(2):1-12. DOI: 10.1300/J395v01n02_01
- EMISS, State Statistics (EMISS. Gosudarstvennaya statistika): [website]. [in Russian] (ЕМИСС. Государственная статистика: [сайт]). URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31328> [дата обращения: 17.08.2021].
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations: [site]. Available from: <https://www.fao.org/faostat/en/#home> [accessed Nov. 01, 2021].
- Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. Ecological plant breeding (Экологическая селекция растений). Minsk: Technalohija; 1997. [in Russian] (Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Экологическая селекция растений. Минск: Техналогія; 1997).
- Korolev K.P., Bome N.A. Evaluation of flax (*Linum usitatissimum* L.) genotypes on environmental adaptability and stability in the north-eastern Belarus. *Agricultural Biology*. 2017;52(3):615-621. [in Russian] (Королев К.П., Боме Н.А. Оценка генотипов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по экологической адаптивности и стабильности в условиях северо-восточной части Беларуси. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(3):615-621).
- Korolev K.P., Gromova Yu.A., Kramar K.V. Adaptive potential of fiber flax and oil flax cultivars under extreme conditions of Siberia (Adaptivnyy potentsial sortov lna-dolguntsa i lna maslichnogo v ekstremal'nykh usloviyakh Sibiri). *Tobolsk naychny = Scientific Tobolsk*. 2018;2018:46-49. [in Russian] (Королев К.П., Громова Ю.А., Крамар К.В. Адаптивный потенциал сортов льна-долгунца и льна масличного в экстремальных условиях Сибири. *Тобольск научный*. 2018;2018:46-49).
- Krepkov A.P. Fiber flax in Siberia (Len-dolgunets v Sibiri). Tomsk: Tomsk University; 2004. [in Russian] (Крепков А.П. Лен-долгунец в Сибири. Томск: Томский университет; 2004).
- Krepkov A.P. Flax is a national concept (Len ponyatiye natsionalnoye). *Lnyanoye delo = Flax Business*. 1997;(4):11-14. [in Russian] (Крепков А.П. Лен понятие национальное. *Льняное дело*. 1997;(4):11-14).
- Kumar N, Paul S., Dhial R.S. Study on genetic variability, heritability and genetic advance for agro-morphological traits of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Research in Environment and Life Sciences*. 2016;9:16-18.
- Kurt O., Uysai H., Uzun S. Allometric model for leaf area estimation linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Turkish Journal of Field Crops*. 2006;11(1):1-5.
- Kutuzova S.N., Pitko A.G. Guidelines for the study of the flax collection (*Linum usitatissimum* L.) (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu kollektsii lna [*Linum usitatissimum* L.]). Leningrad: VIR; 1988. [in Russian] (Кутузова С.Н., Питко А.Г. Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.). Ленинград: ВИР; 1988).
- Nozkova J., Pavelek M., Bjelkova M., Brutch N., Tejklova E., Porokhovinova E., Brindza J. Descriptor list for flax (*Linum usitatissimum* L.). Nitra: Slovak University of Agriculture; 2016.
- Porokhovinova E.A., Kutuzova S.N., Pavlov A.V., Slobodkina A.A., Yakusheva T.V., Brutch N.B. Collection of flax genetic resources of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;7(2):75-90. [in Russian] (Пороховинова Е.А., Кутузова С.Н., Павлов А.В., Слободкина А.А., Якушева Т.В., Бруч Н.Б. Коллекция генетических ресурсов льна Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;7(2):75-90). DOI: 10.18699/LettersVJ2021-7-09
- Rykova R.P. (ed.). International COMECON list of descriptors for the species *Linum usitatissimum* L. Leningrad: VIR; 1989. [in Russian] (Международный классификатор СЭВ вида *Linum usitatissimum* L. / под ред. Р.П. Рыковой. Ленинград: ВИР; 1989).
- Saeidi G. Genetic variation and heritability for germination, seed vigour and field emergence in brown and yellow-seeded genotypes of flax. *International Journal of Plant Production*. 2008; 2:15-22.
- Selyaninov G.T. On agricultural assessment of climate (O selskokhozyaystvennoy otsenke klimata). *Trudy po selskokhozyaystvennoy meteorologii = Works on Agricultural Meteorology*. 1928;20:165-177. [in Russian] (Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата. *Труды по сельскохозяйственной метеорологии*. 1928;20:165-177).
- Sheidai M., Afshar M.F., Keshavarzi S., Talebi Z., Noormohammadi T.S. Genetic diversity and genome size variability in *Linum austriacum* (Linaceae) populations. *Biochemical Systematics and Ecology*. 2008;57:20-26. DOI: 10.1016/j.bse.2014.07.014
- Sheidai M., Ziaee S., Talebi S., Noormohammadi Z., Farahani Y. Infra-specific genetic and morphological diversity in *Linum album* (Linaceae). *Biologia*. 2013;69:32-39. DOI: 10.2478/s11756-013-0281-4
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow: Rosinformagrotekh; 2021. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2021). URL: <https://gosortrf.ru/wp-content/uploads/2021/04/Итоговый-реестр-2021.pdf> [дата обращения: 16.03.2022].
- Tadesse T., Singh H., Weyessa B.R. Correlation and path coefficient analysis among seed yield traits and oil content in

- Ethiopian linseed germplasm. *International Journal of Sustainable Crop Production*. 2009;4(4):8-16.
- Witkovich R., Zajac T., Krynska B., Klima K. Variation and interrelation of yield components in linseed. *Acta Agraria et Silvicultura*. 2005;45:11-17. [in Polish]
- Zajac T., Grzesiak S., Kulig B., Poláček M. The estimation of productivity and yield of linseed (*Linum usitatissimum* L.) using the growth analysis. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2005;27(4A):549-558. DOI: 10.1007/s11738-005-0061-z
- Zhuchenko A.A. Ecological genetics of cultivated plants (adaptation, recombination, agrobiocenosis) (Экологическая генетика культурных растений [adaptatsiya, rekombinogenez, agrobiotsenoz]). Chisinau: Știința; 1980. [in Russian] (Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений (адаптация, рекомбиногенез, агробиоценоз). Кишинев: Штиинца; 1980).
- Zhuchenko A.A., Rozhmina T.A. Mobilization of flax genetic resources (Mobilizatsiya geneticheskikh resursov lna). Staritsa; 2000. [in Russian]. (Жученко А.А., Рожмина Т.А. Мобилизация генетических ресурсов льна. Старица; 2000).
- Zubal P. The effects of sowing date, seeding rate and nutrition on yields of the oilseed flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.). *Vedecke Prace Vyskumneho Ustavu Rastlinnej Vyroby Piest'any*. 2001;30:33-38. [in Slovak]

Информация об авторах

Константин Петрович Королев, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Тюменский государственный университет, 625003 Россия, Тюмень, ул. Володарского, 6, korolev.konstantin2016@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9595-3493>

Нина Анатольевна Боме, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая кафедрой, Тюменский государственный университет, 625003 Россия, Тюмень, ул. Володарского, 6, bomena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5467-6538>

Наталья Николаевна Колоколова, кандидат биологических наук, доцент, Тюменский государственный университет, 625003 Россия, Тюмень, ул. Володарского, 6, campanella2004@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9221-318X>

Information about the authors

Konstantin P. Korolev, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, University of Tyumen, 6 Volodarskogo St., Tyumen 625003, Russia, korolev.konstantin2016@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9595-3493>

Nina A. Bome, Dr. Sci. (Agriculture), Head of a Department, University of Tyumen, 6 Volodarskogo St., Tyumen 625003, Russia, bomena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5467-6538>

Natalya N. Kolokolova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, University of Tyumen, 6 Volodarskogo St., Tyumen 625003, Russia, campanella2004@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9221-318X>

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 11.03.2022; одобрена после рецензирования 09.02.2023; принята к публикации 02.03.2023. The article was submitted on 11.03.2022; approved after reviewing on 09.02.2023; accepted for publication on 02.03.2023.

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

Original article

UDC 577.161.19:635.62

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-118-127



Carotenoids and carotenes in the fruits of *Cucurbita maxima*, *C. moschata* and *C. pepo* under the conditions of Northwestern Russia

Tatiana M. Piskunova, Tatiana V. Shelenga, Pavel V. Ozersky, Alla E. Solovyeva

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

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

Cucurbits are among the most valuable vegetable crops widely used for food all over the world, being an important source of carotenoids and carotenes, biologically active substances with antioxidant and other types of activity. Their content largely depends on the *Cucurbita* species and varietal features. The *Cucurbita* collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) contains more than 3,000 accessions of five cultivated *Cucurbita* spp. and serves as the most important source of source material for developing new cultivars in order to expand the range of functional food products. The present research was aimed at studying the content of carotenoids and carotenes in the fruits of *Cucurbita maxima* Duch., *C. pepo* L. and *C. moschata* Duch. ex Poir. grown in Northwestern Russia, which is characterized by a short growing season and a low sum of active temperatures. The performed study revealed significant differences between the *Cucurbita* species and cultivars in terms of the content of carotenoids, total carotenes and β -carotene. In contrast to *C. pepo*, the accessions of *C. maxima* and *C. moschata* were characterized by a wide range of variation of these characters. A statistically significant effect of the flesh and fruit skin color on the content of carotenoids, carotenes and β -carotene in them was observed ($p < 0.001$). The minimum amount of carotenoids, carotenes and β -carotene was found in the fruits with light yellow flesh, and the maximum in those with dark orange flesh. Cucurbit fruits with red skin accumulated more target compounds in contrast to the fruits with white skin. The identified *Cucurbita* accessions with high content of carotenes and carotenoids can be used as valuable source material for breeding cultivars with improved biochemical composition, which can broaden the range of functional food products when grown in the regions with unfavorable conditions for the production of this crop.

Keywords: *Cucurbita*, functional nutrition, carotenoids, carotenes, cultivar breeding

Acknowledgements: this work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under Agreement No. 075-15-2021-1050 dated Sept. 28, 2021.

The materials from VIR's collections of *Cucurbita* genetic resources were used in the study.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Piskunova T.M., Shelenga T.V., Ozersky P.V., Solovyeva A.E. Carotenoids and carotenes in the fruits of *Cucurbita maxima*, *C. moschata* and *C. pepo* under the conditions of Northwestern Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):118-127. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-118-127

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-118-127

Каротиноиды и каротины в плодах *Cucurbita maxima*, *C. moschata* и *C. pepo* в условиях Северо-Запада России

Т. М. Пискунова, Т. В. Шеленга, П. В. Озерский, А. Е. Соловьева

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

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

Тыква – одна из наиболее ценных овощных культур, которая широко используется в пищу во всем мире, являясь важным источником каротиноидов и каротинов, биологически активных веществ с антиоксидантной и другими видами активности. Их содержание в значительной мере зависит от видовых и сортовых особенностей тыквы. Коллекция Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) насчитывает более 3000 образцов пяти культурных видов тыквы и является важнейшим источником исходного материала для получения новых сортов с целью расширения ассортимента продуктов функционального питания. Задачей нашего исследования было изучение содержания каротиноидов, каротинов, в том числе β -каротина, в плодах тыквы *Cucurbita maxima* Duch., *C. pepo* L. и *C. moschata* Duch. ex Poir., выращенных в условиях Северо-Западного региона России, который характеризуется коротким вегетационным периодом и невысокой суммой активных температур. Проведенное нами исследование с последующим статистическим анализом позволило выявить достоверные отличия между видами и сортами тыквы из коллекции ВИР по содержанию каротиноидов, суммы каротинов и β -каротина. Для образцов *C. maxima* и *C. moschata*, в отличие от *C. pepo*, был характерен широкий диапазон варьирования этих признаков. Выявлено статистически значимое влияние цвета мякоти и цвета коры плодов на содержание в них каротиноидов, каротинов и β -каротина ($p < 0,001$). Минимальное количество каротиноидов, каротинов и β -каротина установлено для плодов со светло-желтой мякотью, максимальное – с темно-оранжевой. Плоды тыквы с красной корой накапливали больше целевых соединений, в отличие от плодов с белой корой. Выделенные нами образцы *Cucurbita* с высоким содержанием каротинов и каротиноидов являются ценным исходным материалом для селекции сортов с улучшенным биохимическим составом для расширения линейки продуктов функционального питания, пригодных к выращиванию в регионах с условиями, нетипичными для производства данной культуры.

Ключевые слова: *Cucurbita*, функциональное питание, каротиноиды, каротины, селекция сортов

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по договору № 075-15-2021-1050 от 28.09.2021.

В работе использован материал коллекций генетических ресурсов *Cucurbita* из коллекции ВИР.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Пискунова Т.М., Шеленга Т.В., Озерский П.В., Соловьева А.Е. Каротиноиды и каротины в плодах *Cucurbita maxima*, *C. moschata* и *C. pepo* в условиях Северо-Запада России. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023;184(1):118-127. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-118-127

Introduction

Cucurbita L. species have been widely cultivated and used for food since ancient times. Over the centuries of cultivation, a broad genetic diversity of forms has been selected due to their economic importance. They served as a basis for the development of many cultivars significantly differing in biological and morphological characters, and in biochemical composition. The *Cucurbita* collection held by VIR, one of the largest in the world, is the most important source of material for breeding. The formation of the collection started in the 1920s under the guidance and with direct participation of N. I. Vavilov. This work was initiated in 1922 when cultivars released in Western Europe and the United States were acquired, and local varieties were collected in Russia and other countries, especially those used in ancient agriculture. Currently, VIR's collection includes over 3,000 accessions of five cultivated *Cucurbita* species: *Cucurbita maxima* Duch., *Cucurbita pepo* L., *Cucurbita moschata* Duch. ex Poir., *Cucurbita ficifolia* Bouche, and *Cucurbita mixta* Pang. In Russia, the three *Cucurbita* species cultivated by the agricultural industry are *Cucurbita maxima*, *Cucurbita pepo* and *Cucurbita moschata*.

In recent decades, the concept of healthy nutrition has become generally accepted. This has led to the need to expand research on the quality and functionality of vegetable products. Cucurbits are among the vegetable crops of the highest demand in the world. According to the latest FAOSTAT data, the world production of cucurbit fruits is almost 230 million tons. The leading producers are China and India, while Russia produces 1.2 million tons annually and holds the third place in terms of gross harvest.

Cucurbit fruits contain substances that are important for the healthy human nutrition, such as amino acids, vitamins C, B1, B2, B6, E, carnitine, as well as folic and pantothenic acids. The pectins contained in cucurbit fruits purify the human body from heavy metal ions by forming insoluble complexes with them and promoting their excretion (Oloyede et al., 2012). Due to the presence of many compounds, cucurbit flesh has well-proven antioxidant properties, for example, it helps to neutralize free radicals (Fu et al., 2006; Yadav et al., 2010; Gutierrez, 2016).

Carotenes and carotenoids are a group of bioactive compounds most well-represented in pumpkin (Solovyova et al., 2014). Along with anthocyanins, carotenoids belong to a class of the most widespread plant pigments. The major carotenoid in pumpkin (> 80%) is β -carotene, with lesser amounts of lutein, lycopene, α -carotene and *cis*- β -carotene (Seo et al., 2005). The daily requirement for vitamin A is on average 900 mcg for an adult male, 700 mcg per day for a woman, with an allowable consumption threshold of 3000 mcg per day (Dietary reference intakes..., 2001). Based on the Institute of Medicine bioconversion rates of provitamin A carotenoids (PVCs) to retinol (Dietary reference intakes..., 2001): 1 mg of retinol is equivalent to 12 mg, 24 mg and 24 mg of β -carotene, α -carotene and β -cryptoxanthin, respectively (Buzigi et al., 2022). The content of β -carotene in pumpkin ranges from 402 to 154,760 $\mu\text{g}/100\text{g}$, depending on the cultivar and place of reproduction (Buzigi et al., 2022), which covers the daily requirement for vitamin A, which is 5 mg per day for a healthy adult (Shashkina et al., 2009).

The physiological role of carotenoids is quite diverse. They have an extensive list of pharmacological properties, that is, radioprotective, provitaminic, anticarcinogenic and other types of activity (Fu et al., 2006; Yadav et al., 2010; Gutierrez, 2016). It has been established that the consumption of cucurbit fruits with high content of β -carotene has an immu-

nostimulating effect due to the production of Th1 cytokines (Kim et al., 2016).

The accumulation of carotenoids and carotenes in cucurbit fruits largely depends on the species and varietal features. The dependence of these indicators on the climate characteristics of the cultivation zone, soils, and the use of fertilizers was confirmed (Oloyede et al., 2012). The conditions and duration of storage after the harvest can also markedly affect carotenoid levels in cucurbit fruits (Maťová et al., 2019).

In connection with the above, the study of specific features of carotenoid and carotene accumulation in cucurbit fruits of different species keeps being relevant. Golubkina et al. (2021) revealed differences in the content of carotenoids and carotenes between different parts of the cucurbit fruit (flesh, skin). Exclusively lutein was found in the flesh of the pumpkin cultivar 'Konfetka'; lutein, zeaxanthin and β -carotene were detected in the skin, while β -carotene predominated in the placenta (Golubkina et al., 2021). Whang et al. (1999) observed that the content of β -carotene in the flesh and skin of *C. moschata* fruits was the same. According to Kim et al. (2012), the content of β -carotene in the fruit skin of three *Cucurbita* species was 5–15 times higher than that in the flesh.

The task of the present research was to study the total content of carotenoids, carotenes, and β -carotene in fruits of *C. maxima*, *C. pepo* and *C. moschata*, grown in Northwestern Russia, which is characterized by a short growing season and a low sum of active temperatures, in order to preselect material for breeding programs aimed at expanding the range of biofunctional products.

The research was aimed at revealing the features of carotenoid, carotene and β -carotene accumulation in the most economically important *Cucurbita* species from the VIR collection, and at identifying accessions rich in these pigments, which can be used as the source material when developing new *Cucurbita* cultivars suitable for expanding the range of functional food products when cultivated in the areas with unfavorable climatic conditions.

Materials and methods

Plant materials.

The research was carried out in 2018–2019 in the Biochemistry Lab of VIR. The study involved 69 samples of fruits of three cultivated *Cucurbita* species *C. pepo*, *C. maxima*, and *C. moschata* of different geographic origin from the global collection of VIR (Table 1).

Samples for the study were grown in the fields of Pavlovsk and Pushkin Laboratories of VIR (St. Petersburg, Pushkin). The soils of the experimental field were soddy, weakly podzolic, sandy loam in texture, with neutral acidity (pH 7.1–7.6). The humus horizon thickness was 23 to 47 cm, and the humus content 2.1–3.0%. The supply of mobile forms of potassium was medium, and of phosphorus high. The climate in this agroclimatic region is characterized by moderately warm and, in some years, cool summers. The warmest month of the year is July with an average long-term air temperature of 16.5–17.7°C. The sum of positive temperatures is 2100–2300°C. The period with temperatures above 10°C lasts for 105–115 days. The amount of precipitation during the growing season is 550–600 mm per year. The air temperature during the growing season of 2018 was 2–4°C above the average long-term values. The amount of precipitation in May and June was below normal, while in July, August and September it was at the average level. In 2019, the air temperature and the amount of precipitation during the growing season were

Table 1. *Cucurbita* L. species from the VIR collection used in the research**Таблица 1.** Виды *Cucurbita* L. из коллекции ВИР, взятые в исследование

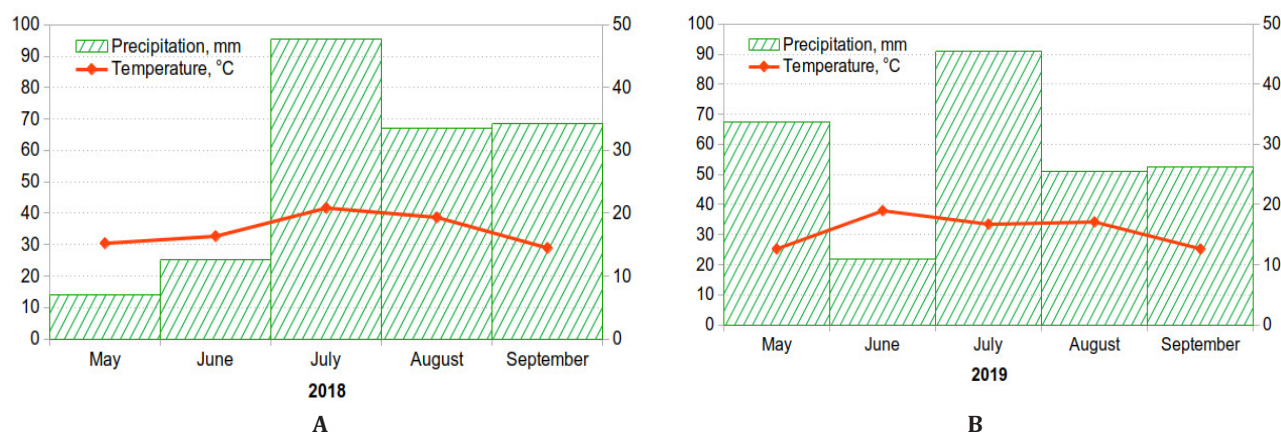
Species	Origin	Quantity
<i>C. maxima</i>	Azerbaijan, Argentina, Bulgaria, Italy, Kazakhstan, China, Poland, Russia, USA, Tajikistan, Ukraine, France, Chile, Sweden	48
<i>C. moschata</i>	Azerbaijan, Argentina, Armenia, Bangladesh, Bulgaria, China, The Netherlands, USA, Turkey, Uruguay, Japan	14
<i>C. pepo</i>	Armenia, Bulgaria, Hungary, Russia, USA, France	7

close to the long-term average values, with the exception of small precipitation amount in June (Fig. 1A, B).

Sowing of the accessions, agricultural techniques for plant care as well as plant material study, harvesting and preparation for biochemical analysis were carried out according to the guidelines developed at VIR (Fursa et al., 1988). Plants were grown in two-row plots, 5 plants in a row, 10 plants in total per plot. The planting distance was 2 × 1.4 m. Sowing was carried out on May 23–25. The emergence of sprouts was recorded on days 6–8. Fruits were harvested when completely ripe.

amount found on the calibration curve, mg), V (volume of the initial extract, cm³); V₁ (volume of the extract applied to chromatographic paper, cm³); V₂ (volume of the extract after chromatographic separation, cm³); m (weight of the sample, g).

For the separation of carotenes, chromatographic paper (Whatman No. 3A) was used as the stationary phase and petroleum ether as the mobile one. Carotenes were identified as a separate band. After separation, the paper was completely dried, and the carotenes eluted with small portions of acetone. The measurements were carried out on a spectropho-

**Fig 1.** Climatograms for 2018 (A) and 2019 (B), Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR (St. Petersburg, Pushkin)**Рис. 1.** Климатограммы за 2018 г. (А) и 2019 г. (В), научно-производственная база «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург, Пушкин)

Sample preparation and spectrophotometric analysis.

Sample preparation and biochemical analysis were performed according to methodological guidelines developed at VIR (Ermakov, 1987). Each cucurbit sample was composed from three fruits. One-sixth or one-eighth part was taken from each fruit, depending on its size, chopped into 2 × 5 mm pieces and mixed. A 5 g sample was taken from the mixture. The pigments were extracted with small portions of 90% acetone until the complete discoloration of the flesh. Absorbance of chlorophylls, carotenoids, carotenes and β-carotene was measured at the 440, 645, 663 and 454 nm wavelengths by the UV spectrophotometer Ultrospec II (Biochrom, England) using a 90% acetone solution as a control. Total carotenoids (A), total carotenes (B), and β-carotene (C) content were calculated by the following equations (Ermakov, 1987):

$$(A) \text{ Ccar(mg/100g)} = \frac{(4.695 \cdot A_{440} - 0.268 \cdot (C_{la} + C_{lb})) \cdot V \cdot 100}{m};$$

$$(B) \text{ X} \left(\frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = \frac{a \cdot V \cdot V_2 \cdot 100}{m \cdot V_1};$$

$$(C) \text{ beta-Carotene (mg/100g)} = \frac{37.453 \cdot (A_{454}) + 0.1846}{10},$$

where: Ccar (carotenoids, mg/100 g), A (pigment's absorption rates), X (carotene content, mg/100g), a (the pigment

tometer at a wavelength of 454 nm, the total carotene content was calculated in accordance with equation (B).

Finally, the amount of carotenoids was calculated taking into account the dilutions made during the pigment extraction process. The content of carotenoids, carotenes and β-carotene was expressed in mg/100 g of wet weight of cucurbit fruit flesh. Each analysis was performed in duplicate, and the obtained means were statistically processed.

Data processing.

To calculate the Kruskal–Wallis and Mann–Whitney criteria, the Past 2.17c program was used. The descriptive statistics indicators (medians, quartiles, mean, and standard deviation) were determined using the LibreOffice 7.0.2.2 program.

Results

The study of 69 cultivars of *C. pepo*, *C. maxima* and *C. moschata* from the VIR collection with subsequent statistical analysis made it possible to establish differences between these species in terms of carotenoids, carotenes, and β-carotene content.

According to the results of the analysis, the highest values of carotenoids (8.28 ± 7.59), carotenes (4.25 ± 5.18) and

β -carotene (1.64 ± 2.32) content were found for the accessions of *C. maxima*, the medium level of carotenoids (5.11 ± 4.72) and carotenes (2.85 ± 3.53) for *C. moschata*, and the minimum levels (3.38 ± 2.95 and 1.80 ± 1.85 , respectively) for *C. pepo*. The minimum β -carotene value of 0.59 ± 0.55 was found for *C. moschata* and the medium one (0.65 ± 1.00) for *C. pepo* (Fig. 2, Table 2).

The accessions of *C. pepo* differed from the other studied ones by the minimal variability in the content of carotenoids and carotenes (0.63–8.24 and 0.45–5.22; respectively), and medium for β -carotene (0.08–2.61 mg/100 g) (see Table 2, Fig. 2).

The highest average two-year values of carotenoid, carotene and β -carotene content were found for the local acces-

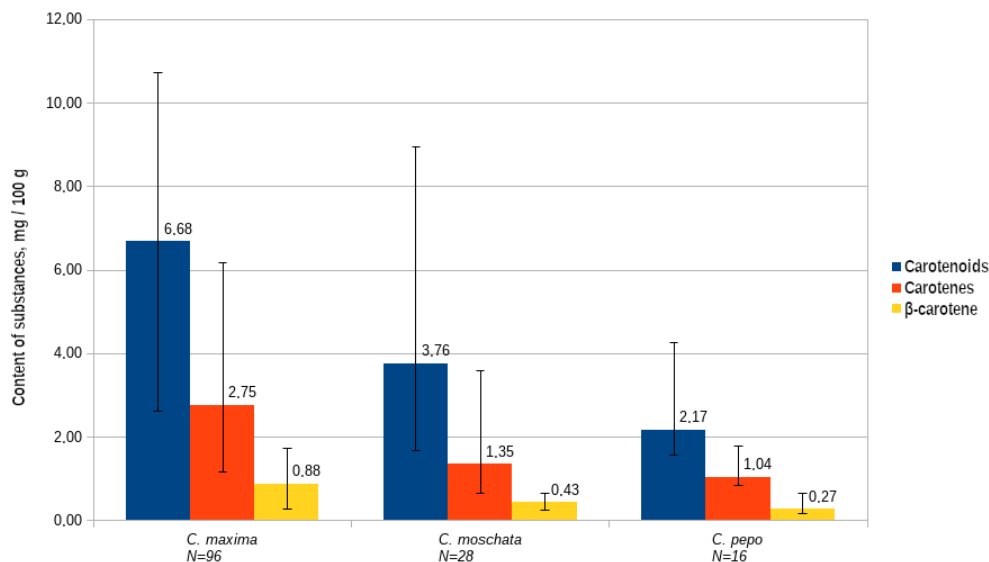


Fig. 2. The content of carotenoids, carotenes, and β -carotene in fruits of *Cucurbita maxima* Duch., *C. moschata* Duch. ex Poir. и *C. pepo* L. (medians)

Рис. 2. Содержание каротиноидов, каротинов и β -каротина в плодах *Cucurbita maxima* Duch., *C. moschata* Duch. ex Poir. и *C. pepo* L. (медианы)

Table 2. The content of carotenoids, carotenes, and β -carotene in the flesh of fruits of *Cucurbita* L. accessions from the VIR collection, mg/100 g (mean values $\pm$ SD)

Таблица 2. Содержание каротиноидов, каротинов и β -каротина в мякоти плодов образцов *Cucurbita* L. из коллекции ВИР, мг/100 г (средние значения $\pm$ стандартное отклонение)

<i>Cucurbita</i> species	Years of study	Carotenoids	Carotenes	β -carotene
<i>C. maxima</i>	2018	10.25 $\pm$ 9.42	5.60 $\pm$ 6.77	2.25 $\pm$ 2.92
	2019	6.31 $\pm$ 4.43	2.90 $\pm$ 2.14	1.02 $\pm$ 1.25
Two year average		8.28 $\pm$ 7.59	4.25 $\pm$ 5.18	1.64 $\pm$ 2.32
<i>C. moschata</i>	2018	6.49 $\pm$ 6.06	3.67 $\pm$ 4.58	0.77 $\pm$ 0.68
	2019	3.73 $\pm$ 2.33	2.04 $\pm$ 1.85	0.42 $\pm$ 0.29
Two year average		5.11 $\pm$ 4.72	2.85 $\pm$ 3.53	0.59 $\pm$ 0.55
<i>C. pepo</i>	2018	2.79 $\pm$ 2.17	2.00 $\pm$ 2.26	0.79 $\pm$ 1.47
	2019	3.84 $\pm$ 3.50	1.64 $\pm$ 1.58	0.53 $\pm$ 0.45
Two year average		3.38 $\pm$ 2.95	1.80 $\pm$ 1.85	0.65 $\pm$ 1.00

The widest range of variability of carotenoids (0.61–34.1), carotenes (0.33–23.1) and β -carotene (0.07–6.75 mg/100 g) during the study period was observed in the accessions of *C. maxima* (see Table 2, Fig. 2).

The fruits of *C. moschata* demonstrated the medium degree of variability in the content of carotenoids (1.08–13.2), carotenes (0.38–10.5) and the minimal for β -carotene (0.06–1.55 mg/100 g) (Table 2, Fig. 2).

sions and cultivars of *C. maxima*: 'Slasyona' (k-4935, Russia) – 17.1; 8.8 and 6.2 mg/100 g, respectively, k-2787 (Russia) – 12.9, 9.4 and 6.8 mg/100 g; *C. moschata*: Local k-4585 (Bangladesh) – 11.95, 7.7 and 1.4 mg/100 g, 'Muskatnaya 51-27' (k-3362, Bulgaria) – 13.2, 10.5 and 1.6 mg/100 g, *C. pepo*: k-4936 (Bulgaria) – 8.2; 5.2 и 2.6 mg/100 g; of carotenoid and carotene content for the cultivars of *C. maxima*: 'Lesnoy Orekh' (tk-2283, Russia) – 34.2 and 23.0 mg/100 g, respectively,

'Krasnaya Novinka' (k-5384, China) – 12.8 and 8.9, 'Krasnaya Malenkaya' (tk-2079, China) – 12.5 and 9.0, and 'Zelenaya Zvezda' (k-5339, China) – 15.4 and 8.1, respectively; *C. moschata*: Tiana F1 (k-5388, the Netherlands) – 7.7 and 5.4 mg/100 g, respectively; of carotenoid content for the cultivars of *C. maxima*: 'Izobiliye' (k-5032, Russia) – 2.1 mg/100 g, 'Chernaya Tsennaya' (k-5340, China) – 15.3, 'Krasnaya Dragotsennost' (k-5383, China) – 14.9, 'Zelenaya Stolovaya' (k-5342, China) – 13.2, 'Krasnaya' (tk-2372, China) – 12.5 mg/100 g; *C. moschata*: 'Berkanush' (k-4510, Armenia) – 7.7 mg/100 g; of carotene content for the accession of *C. maxima*: Local k-4919 (Kazakhstan) – 7.3 mg/100 g, and β -carotene content for the cultivar of *C. maxima* 'Zhdana' (k-5017, Ukraine) – 6.3 mg/100 g.

Although no reliable dependence of carotene, carotenoid and β -carotene content in the *Cucurbita* accessions on climate conditions during the two years of research could be established, still it was possible to trace the trend of this relationship. Virtually all accessions of *C. maxima*, *C. moschata* and *C. pepo* demonstrated higher values of carotene, carotenoid and β -carotene content in 2018, except for the content of carotenoids in *C. pepo* accessions, which was higher in 2019. Apparently, the higher temperatures in 2018, compared to the long-term average data, contributed to the accumulation of target substances in the flesh of cucurbit fruits (see Table 2). Our data are consistent with the results of other researchers (Cavalcante, Rodriguez-Amaya, 1992; Kimura et al., 1991), which showed that high temperature and intense insolation enhance fruit's carotenogenesis.

The influence of the species of the studied cucurbit accessions on the content of pigments in it was assessed using the Kruskal-Wallis test. As a result, a statistically significant relationship between the species and indicators of carotenoid, carotene and β -carotene content in the cucurbit fruit flesh was established ($p < 0.01$, $p < 0.05$ and $p < 0.05$; respectively). The post hoc analysis using the Mann-Whitney test (with Bonferroni correction) revealed statistically significant differences between *C. maxima* and *C. pepo* in the content of carotenoids ($p < 0.01$), carotenes ($p < 0.05$), and β -carotene ($p < 0.05$).

C. maxima was found to be the most polymorphic species in comparison with others, and was distinguished by a variety of colors of the skin and flesh of the fruit. To assess the influence of the color of the skin and flesh of *C. maxima* fruits on the content of pigments (carotenoids, carotenes, and β -carotene) in them, the Kruskal-Wallis test was used (pairwise comparison using the Mann-Whitney test with the Bonferroni correction for the post hoc analysis). The considered flesh color options included light yellow, yellow-orange, yellow, creamy, orange, light orange, dark yellow, dark orange, bright yellow; bright orange, and those for the skin included white, yellow (including creamy-yellow and light yellow), green (including brown-green, light green, gray-green, dark green and black-green), red (including orange-red), orange (including pink-orange, light orange and bright orange), pink (including light pink), gray (including also whitish-gray, light gray, gray with pink spots and dark gray).

The performed statistical analysis revealed the effect of the color of the fruit flesh on the content of carotenoids, carotenes and β -carotene in them ($p < 0.001$ in all cases) (Fig. 3, A, B, C).

The post hoc analysis showed that in terms of the total carotenoids in fruits of *C. maxima* there existed significant differences between fruits with yellow flesh and those with dark yellow and bright orange flesh ($p < 0.01$ and $p < 0.001$, respectively) as well as between fruits with light yellow flesh and

those with dark yellow and bright orange flesh ($p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively). As can be seen from Figure 3A, the lowest content of carotenoids is characteristic of the fruits with light yellow flesh, while the highest to those with dark orange flesh. In terms of the total carotene content, the fruits with yellow flesh were explicitly opposed to those with bright orange flesh ($p < 0.01$), and it also refers to fruits with light yellow flesh vs. fruits with dark yellow and bright orange flesh ($p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively) (see Fig. 3, B). In terms of the total content of β -carotene, significant differences between fruits with light yellow flesh and those with bright orange flesh ($p < 0.01$) were clearly revealed (see Fig. 3, B). As can be seen from Figures 3A, B, C, the lowest content of carotene in general, β -carotene included, was detected in fruits with light yellow and yellow-orange flesh, while the highest was found in fruits with dark orange flesh.

A statistically significant effect of *C. maxima* fruit skin color on the content of carotenoids, carotenes and β -carotene in them ($p < 0.001$ in all cases) was revealed (Fig. 4, A, B, C). The post hoc analysis showed that in terms of the total content of carotenoids, fruits with yellow skin considerably differed from those with red ($p < 0.01$), and fruits with pink skin from those with green and red skin ($p < 0.05$) (Fig. 4, A). The values of total carotene content clearly separated the fruits with red skin from those with pink skin ($p < 0.05$) (Fig. 4, B). In terms of the total β -carotene content, fruits with green and red skin significantly differed from those with pink skin ($p < 0.05$ in both cases) (Fig. 4, C).

It is demonstrated in Figs. 4: A, B, C that the lowest content of carotenoids, carotenes and β -carotene is characteristic of fruits with white skin, while the highest for the fruits with red skin.

Discussion

Carotenoids belong to the group of provitamin A, being its metabolic precursors. This is the most abundant class of plant pigments, the most important of which is β -carotene. The bulk of provitamin A is obtained from leafy green, orange and yellow vegetables, tomato products, fruits and some vegetable oils (Seo et al., 2005). Cucurbits are an important source of carotenoids – antioxidants with recognized pharmaceutical potential. Studies by a number of authors indicated considerable differences in the content of carotenoids in *Cucurbita* species and cultivars (Murkovic et al., 2002; Azevedo-Meleiro, Rodriguez-Amaya, 2007; Kim et al., 2012; Kulczyński, Gramza-Michałowska, 2019a, b).

The post hoc analysis of the obtained results (the content of carotenoids, carotenes and β -carotene) showed significant differences between *C. maxima* and *C. pepo*, it being consistent with the data previously obtained by Kim et al. (2012), who revealed differences between the species in the content of β -carotene in the flesh of fruits grown in Gunsan, Naju and Kochang regions of South Korea. Kulczyński and Gramza-Michałowska (2019a, b) found statistically significant differences ($p = 0.05$) in biochemical composition between *C. pepo* and *C. moschata* reproduced in western Poland (Wolkowo).

The highest β -carotene content was found by Kim et al. (2012) in *C. maxima* (17.4 mg/kg wet weight), medium in *C. moschata* (5.7 mg/kg), and low in *C. pepo* (1.48 mg/kg), which is somewhat different from the findings of the present research, in the course of which it was found that the maximum content of β -carotene (1.64 mg/100 g) indeed corresponded to the accessions of *C. maxima*, while the medium (0.65) and low (0.59) contents were found in *C. pepo* and *C. moschata*, respectively. The values obtained in the present

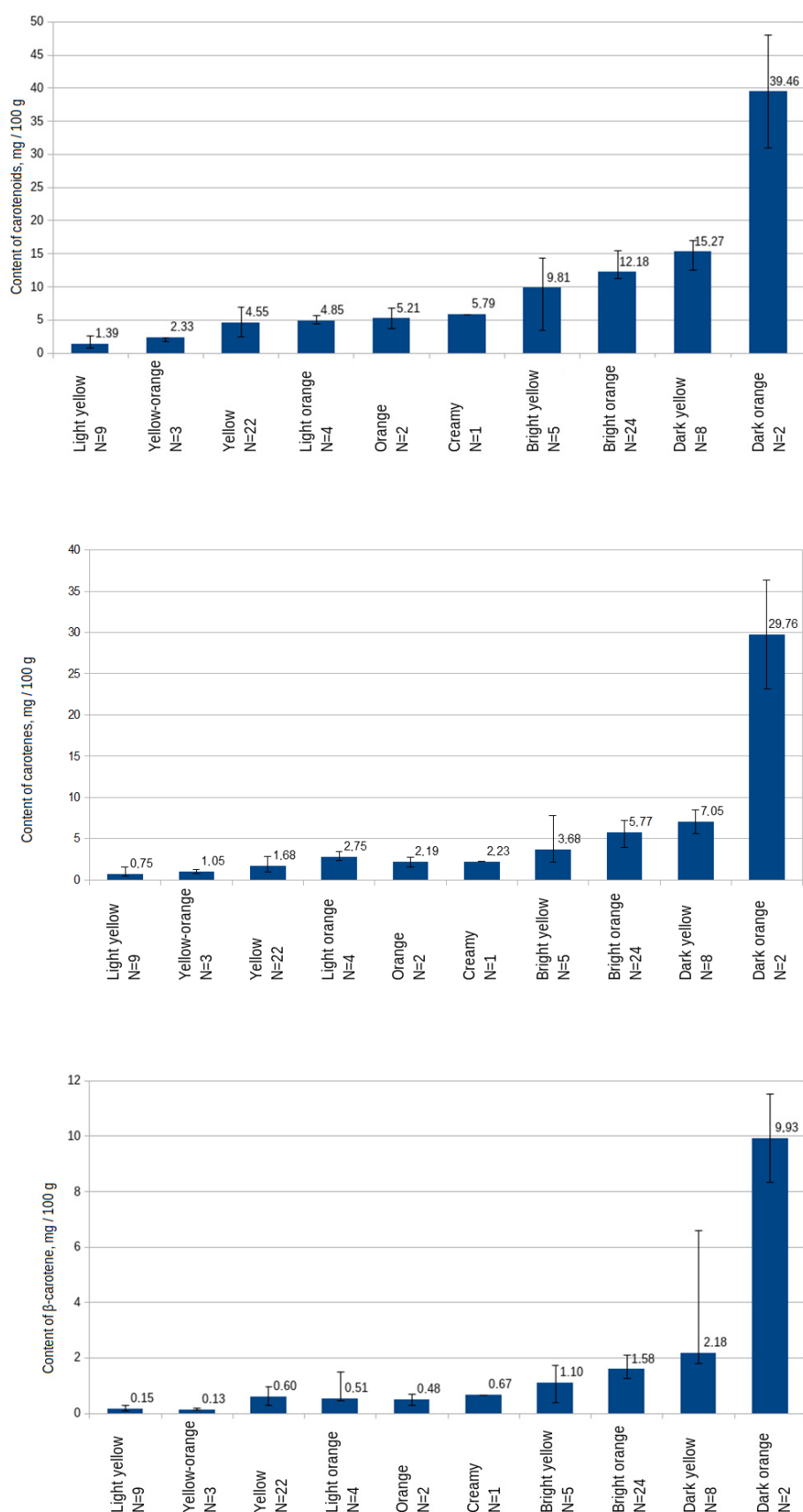


Fig. 3. Content of carotenoids (A), carotenes (B) and β -carotene (C) in cucurbit fruits with differently colored flesh from the VIR collection taken in the study

Рис. 3. Содержание каротиноидов (А), каротинов (Б) и β -каротина (В) в плодах *Cucurbita* spp. с разноокрашенной мякотью из коллекции ВИР, взятых в исследование

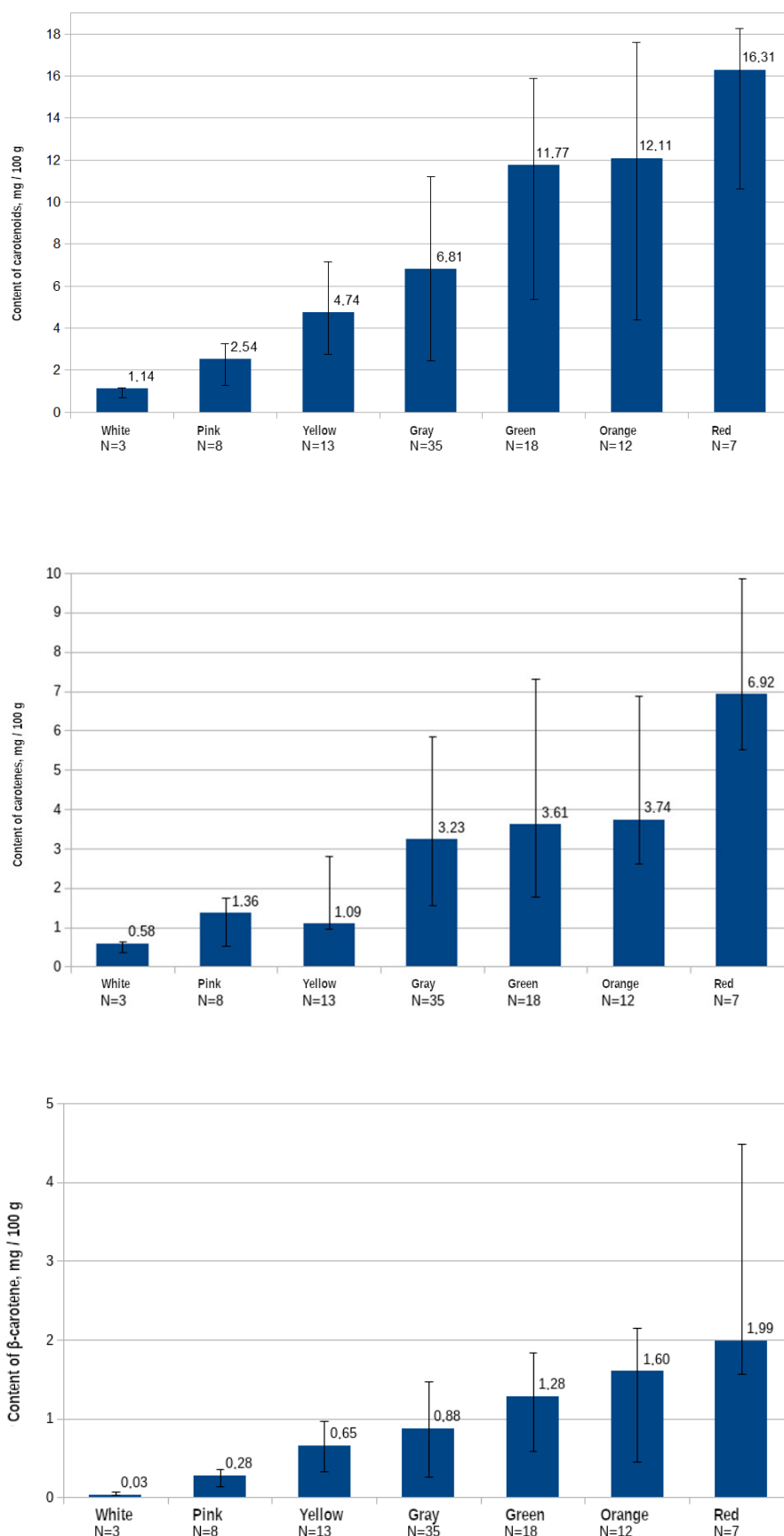


Fig. 4. Content of carotenoids (A), carotenes (B) and β -carotene (C) in cucurbit fruits with differently colored skin from the VIR collection taken in the study

Рис. 4. Содержание каротиноидов (А), каротинов (Б) и β -каротина (С) в плодах *Cucurbita* spp. с разной окраской кожуры из коллекции ВИР, взятых в исследование

research and by Kim et al. (2012) were comparable. Kulczyński and Gramza-Michałowska (2019a, b) confirmed that the maximum values of carotenoids and β -carotene were typical for the cultivars of *C. maxima*, which agrees with the data obtained in the present research. However, Kulczyński and Gramza-Michałowska noted that medium values of carotenoid and β -carotene content were characteristic of *C. pepo* and *C. moschata*, respectively. According to our data, the medium level of carotenoids and carotenes was established for *C. moschata*, and the minimum one for *C. pepo*, while the values of β -carotene content were minimal for *C. moschata* and medium for *C. pepo*. It was shown in the works by Kulczyński and Gramza-Michałowska (2019a) that the highest β -carotene content of 11.53 mg/100 g was found in cv. 'Melonova Zolta' (*C. maxima*), which was comparable with our data of 2018 on the highest results for β -carotene content in the accession k-2787 (13.1) and cv. 'Slastyona' (10.4 mg/100 g).

Murkovic et al. (2002) analyzed 12 cultivars of *C. maxima*, 5 cultivars of *C. pepo*, and 4 cultivars of *C. moschata* as well as the *C. maxima* $\times$ *C. moschata* hybrid grown in Austria. The content of carotenoids in the *Cucurbita* accessions studied by them ranged from 0.06 to 7.4, and of β -carotene from 0 to 7.5 mg/100 g. The range of carotenoid variability established in the present research was found to be wider (0.61–34.15), and the maximum values higher. The β -carotene data from the present study are comparable with those by Murkovic et al. (0.07–6.28 mg/100 g).

The difference in the figures obtained by us and Kim et al. (2012), Kulczyński and Gramza-Michałowska (2019a, b), Murkovic et al. (2002) can be explained by the differences in climate conditions between the locations of *Cucurbita* fruit growing, that is, Northwestern Russia (Pushkin), South Korea, western Poland (Wolkowo), and southern Austria.

Our conclusions about the high statistical significance ($p < 0.001$) of the effect of the cucurbit fruit flesh color on the level of accumulation of carotenoids and carotenes, including β -carotene, were confirmed by the studies of Murkovic et al. (2002). They also found that the flesh color characteristics correlate with the content of carotenoids in fruit flesh. The high-carotene cultivars in the mentioned study had orange flesh, while the low-carotene ones had bright yellow flesh.

The statistically significant ($p < 0.001$) effect of the cucurbit fruit skin color on the content of carotenoids, carotenes and β -carotene in fruit flesh, which was established using the post hoc analysis in the present research, could not be compared with the data of other researchers due to the absence of such data.

Conclusions

A study of the main pigments (carotenoids and carotenes, including β -carotene) in the fruit flesh of different *Cucurbita* spp. from the VIR collection made it possible to reveal statistically significant differences between the accessions of *C. maxima*, *C. moschata*, and *C. pepo* with different flesh and fruit skin colors.

The two-year study period made it possible to identify the trend in the relationship between the accumulation of main pigments in cucurbit fruits and peculiarities of the climate parameters in Northwestern Russia as well as to select the *Cucurbita* accessions which, when grown under these conditions, can accumulate the largest amount of carotenoids and carotenes, including β -carotene, which makes it possible to use such accessions for expanding the range of biofunctional nutrition products in the regions with a short growing season and a low sum of positive temperatures.

References / Литература

- Azevedo-Meleiro C.H., Rodriguez-Amaya D.B. Qualitative and quantitative differences in carotenoid composition among *Cucurbita moschata*, *Cucurbita maxima*, and *Cucurbita pepo*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007;55(10):4027-4033. DOI: 10.1021/jf063413d
- Buzigi E., Pillay K., Siwela M. Potential of pumpkin to combat vitamin A deficiency during complementary feeding in low and middle income countries: variety, provitamin A carotenoid content and retention, and dietary reference intakes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022;62(22):6103-6112. DOI: 10.1080/10408398.2021.1896472
- Cavalcante M.L., Rodriguez-Amaya D.B. Carotenoid composition of the tropical fruits *Eugenia uniflora* and *Malpighia glabra*. In: G. Charalambous (ed.). *Food Science and Human Nutrition*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers; 1992. p.643-650.
- Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. Institute of Medicine. Panel of micronutrients. Washington DC: National Academy Press; 2001.
- Ermakov A.I. (ed.). *Methods of biochemical research on plants (Metody biokhimičeskogo issledovaniya rasteniy)*. Leningrad: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. Ленинград: Агропромиздат; 1987).
- Fu C., Shi H., Li Q. A review on pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2006;61:70-77. DOI: 10.1007/s11130-006-0016-6
- Fursa T.B., Malinina M.I., Artyugina Z.D. Study and conservation of the collection of melons and gourds. Guidelines (Izucheniye i sokhraneniye kollektsii dyn i tykv. Metodicheskiye ukazaniya). Leningrad; 1988. [in Russian] (Фурса Т.Б.; Малинина М.И.; Артюгина З.Д. Изучение и сохранение коллекции дынь и тыкв. Методические указания. Ленинград; 1988).
- Golubkina N.A., Khimich G.A., Antoshkina M.S., Plotnikova U.D., Nadezhkin S.M., Korottseva I.B. Peculiarities of pumpkin carotenoid composition 'Konfetka' variety, prospects of utilization. *Vegetable Crops of Russia*. 2021;(1):111-116. [in Russian] (Голубкина Н.А., Химич Г.А., Антошкина М.С., Плотникова Ю.Д., Надежкин С.М., Коротцева И.Б. Особенности каротиноидного состава тыквы Конфетка, перспективы использования. *Овощи России*. 2021;(1):111-116). DOI: 10.18619/2072-9146-2021-1-111-116
- Kim H.Y., Nam S.Y., Yang S.Y., Kim H.M., Jeong H.J. *Cucurbita moschata* Duch. and its active component, β -carotene effectively promote the immune responses through the activation of splenocytes and macrophages. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*. 2016;38(5):319-326. DOI: 10.1080/08923973.2016.1202960
- Kim M.Y., Kim E., Kim Y.N., Choi C., Lee B.H. Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (*Cucurbitaceae*) species and parts. *Nutrition Research and Practice*. 2012;6(1):21-27. DOI: 10.4162/nrp.2012.6.121
- Kimura M., Rodriguez-Amaya D.B., Yokoyama S.M. Cultivar differences and geographic effects on the carotenoid composition and vitamin A value of papaya. *Food Science and Technology*. 1991;24(5):415-418.
- Kulczyński B., Gramza-Michałowska A. The profile of carotenoids and other bioactive molecules in various pumpkin fruits (*Cucurbita maxima* Duchesne) cultivars. *Molecules*. 2019a;24(18):3212. DOI: 10.3390/molecules24183212

- Kulczyński B., Gramza-Michałowska A. The profile of secondary metabolites and other bioactive compounds in *Cucurbita pepo* L. and *Cucurbita moschata* pumpkin cultivars. *Molecules*. 2019b;24(16):2945. DOI: 10.3390/molecules24162945
- Maťová A., Hegedúsová A., Andrejiová A., Hegedús O., Hugi-ivárová M. Dynamics of changes in total carotenoids and antioxidant activity in fruits of selected varieties of *Cucurbita moschata* Duch. during storage. *Potravinárstvo = Slovak Journal of Food Sciences*. 2019;13(1):823-830. DOI: 10.5219/1187
- Murkovic M., Mülleder U., Neunteufl H. Carotenoid content in different varieties of pumpkins. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2002;15(6):633-638. DOI: 10.1006/jfca.2002.1052
- Oloyede F.M., Agbaje G.O., Obuotor E.M., Obisesan I.O. Nutritional and antioxidant profiles of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) immature and mature fruits as influenced by NPK fertilizer. *Food Chemistry*. 2012;135(2):460-463. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.04.124
- Perez Gutierrez R.M. Review of *Cucurbita pepo* (pumpkin) its phytochemistry and pharmacology. *Medicinal Chemistry*. 2016;6(1):12-21. DOI: 10.4172/2161-0444.1000316
- Seo J.S., Burri B.J.C., Quan Z., Neidlinger T.R. Extraction and chromatography of carotenoids from pumpkin. *Journal of Chromatography A*. 2005;1073(1-2):371-375. DOI: 10.1016/j.chroma.2004.10.044
- Shashkina M.Y., P.N. Shashkin, A.V. Sergeev. Carotenoids as a base for development of cancer chemoprevention. *Russian Biotherapeutic Journal*. 2009;8(4):91-98. [in Russian] (Шашкина М.Я., Шашкин П.Н., Сергеев А.В. Каротиноиды как основа для создания лечебно-профилактических средств. *Российский биотерапевтический журнал*. 2009;8(4):91-98).
- Solovyova A.E., Sokolova D.V., Piskunova T.M., Artemyeva A.M. Nutrients and bioactive compounds in vegetable crops and their role in food quality improvement. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2014;175(2):5-19. [in Russian] (Соловьева А.Е., Соколова Д.В., Пискунова Т.М., Артемьева А.М. Питательные и биоактивные вещества в овощных культурах и их роль в улучшении качества пищевых продуктов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2014;175(2):5-19).
- Whang H.J., Park Y.K., Seog H.M. Carotenoid pigment of pumpkin cultivated in Korea. *The Korean Journal of Food And Nutrition*. 1999;12:508-512.
- Yadav M., Jain S., Tomar R., Prasad G.B.K.S., Yadav H. Medicinal and biological potential of pumpkin: An updated review. *Nutrition Research Reviews*. 2010;23(2):184-190. DOI: 10.1017/S0954422410000107

Information about the authors:

Tatyana M. Piskunova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, tmpiskunova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9267-6619>

Tatyana 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>

Pavel V. Ozersky, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, ozerski@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7627-5412>

Alla E. Solovyeva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, alsol64@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>

Информация об авторах

Татьяна Миновна Пискунова, 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, tmpiskunova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9267-6619>

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>

Павел Викторович Озерский, 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, ozerski@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7627-5412>

Алла Евгеньевна Соловьева, 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, alsol64@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The article was submitted on 07.10.2022; approved after reviewing on 20.01.2023; accepted for publication on 02.03.2023. Статья поступила в редакцию 07.10.2022; одобрена после рецензирования 20.01.2023; принята к публикации 02.03.2023.

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

UDC 633.13;577

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-128-136

**Variation of some physical and chemical quality traits of Moroccan domesticated tetraploid oat lines of *Avena murphyi* Ladiz.****Rajae Manzali^{1,2}, Mohamed Bouksaim², Ahmed Douaik², Gideon Ladizinsky³, Nezha Saidi²**¹ Hassan First University, Settat, Morocco² National Institute for Agricultural Research, Regional Centre for Agricultural Research of Rabat, Rabat, Morocco³ retired from the United States Agency for International Development, Washington DC, USA**Corresponding author:** Nezha Saidi, nezha.saidi@inra.ma

A potential in improving nutrition and health is the consumption of high balanced whole grains. A breeding program was launched by the National Institute for Agricultural Research (INRA-Morocco), aiming to develop new domesticated tetraploid oat lines of *Avena murphyi* Ladiz., with high nutritional benefits. A sequence-based diversity study was conducted on ten tetraploid oat lines of *A. murphyi* to shed light not only on the importance of domesticating wild oat species for crop improvement but also to highlight the nutritional traits of those oat lines. In this study, we assessed the lines for some grain nutritional traits, such as groat contents of proteins and lipids as well as ash, fiber fractions, carbohydrates, and minerals.

The obtained results showed a wide range of chemical contents among lines. The results revealed a high significant difference ($P < 0.001$) in the groat contents of proteins (11.46–15.12%), fat (4.14–10.14%), carbohydrates (48.68–57.38%), and ash (2.71–5.18%). Analysis of total fiber fractions (NDF, ADF, ADL and CF), showed the presence of significant differences between the assessed lines. The lines *A. murphyi* 8 and 9, recorded the highest groat protein contents of 15.12% and 13.66%, with an interesting macroelement profile, mainly magnesium and phosphorus, and iron and manganese as minor mineral profile.

Due to their biochemical composition, Moroccan domesticated tetraploid oat lines of *A. murphyi* offer many opportunities to improve oat cultivation in Morocco and serve as an excellent raw material for foodstuffs formulation.

Keywords: domesticated lines, oat groat, chemical composition, minerals, proteins, fats, carbohydrates, energy value

Acknowledgments: this work was partially financed by USAID, Project No. TAMOU 97-053, Washington, DC 20523, U.S.A, under the supervision of the project principal investigator Prof. Gideon Ladizinsky.

The authors thank the referees for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Manzali R., Bouksaim M., Douaik A., Ladizinsky G., Saidi N. Variation of some physical and chemical quality traits of Moroccan domesticated tetraploid oat lines of *Avena murphyi* Ladiz. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):128-136. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-128-136

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-128-136

Изменчивость некоторых технологических и биохимических признаков качества марокканских тетраплоидных культурных линий овса *Avena murphyi* Ladiz.**Р. Манзали^{1,2}, М. Буксаим², А. Дуаик², Г. Ладизинский³, Н. Саиди²**¹ Университет Хассана Первого, Сеттат, Марокко² Национальный институт сельскохозяйственных исследований, Рабатский региональный центр сельскохозяйственных исследований, Рабат, Марокко³ до выхода в отставку: Агентство США по международному развитию, Вашингтон, округ Колумбия, США**Автор, ответственный за переписку:** Нежа Саиди, nezha.saidi@inra.ma

Потенциал улучшения продуктов питания и здоровья человека заключается в потреблении высокосбалансированных цельных зерен. Национальный институт сельскохозяйственных исследований (INRA-Марокко) запустил селекционную программу, направленную на создание новых культурных линий тетраплоидного овса *Avena murphyi* Ladiz. с высокими питательными свойствами. Исследование различных показателей было проведено на десяти линиях тетраплоидного овса *A. murphyi*, чтобы показать не только важность одомашнивания диких видов овса для повышения урожайности, но и выявить питательные свойства этих линий. В этом исследовании мы оценили линии по некоторым биохимическим свойствам зерна, таким как содержание в зерновке белка и липидов, а также зольности, фракций клетчатки, углеводов и микроэлементов.

Полученные результаты показали широкий диапазон биохимического состава линий. У проанализированных зерновок различных линий выявлены высокие достоверные различия ($P < 0,001$) по содержанию белка (11,46–15,12%), жиров (4,14–10,14%), углеводов (48,68–57,38%) и зольности (2,71–5,18%). Анализ общих фракций клетчатки (NDF, ADF, ADL и CF) показал наличие достоверных различий между оцениваемыми линиями. В зерновках линий 8 и 9 зафиксировано самое высокое содержание белка (15,12% и 13,66%) с повышенным содержанием фосфора и некоторых микроэлементов: магния, железа и марганца.

Благодаря своему биохимическому составу культурные марокканские линии тетраплоидного овса *A. murphyi* открывают много возможностей для расширения возделывания овса в Марокко и служат отличным потенциальным сырьем для производства пищевых продуктов.

Ключевые слова: зерновки, химический состав, минеральные вещества, белки, жиры, углеводы, энергетическая ценность

Благодарности: эта работа частично финансировалась Агентством США по международному развитию, проект № TAMOU 97-053, Вашингтон, округ Колумбия, США, под руководством главного исследователя проекта профессора Гидеона Ладизинского.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Манзали Р., Буксаим М., Дуаик А., Ладизинский Г., Саиди Н. Изменчивость некоторых технологических и биохимических признаков качества марокканских тетраплоидных культурных линий овса *Avena murphyi* Ladiz. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023;184(1):128-136. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-128-136

Introduction

Oat is one of the most versatile cereal crops, it has been used through centuries for animal feed, human consumption and to produce a wide range of added-value products (Bayram, 2017). The popularity of this crop has increased due to its consumption as a functional food with a wide range of health beneficial effects (Ramzan, 2020). It is regarded as a nutrient-dense grain, consisting of good-quality proteins, phytochemicals and dietary fibers, mainly β -glucan, which has positive human health implications (Soycan, 2019). Oat is nutritionally very rich in carbohydrate mainly starch (70–80% of dry matter), proteins (11–55%) and lipids (3.1–10.9%). Total dietary fiber in oat grains ranges from 12–38%, of which around 30–50% are water soluble (Singh, 2018). Oats are rich in tocopherols and contain about 2.3 mg tocopherols/100 g grain (Lásztity, 1998). Oat grains are commonly processed as whole grain, because its groat is softer compared to that of the other grains, which make it difficult to separate the different parts of the grain (germ, endosperm and bran), thus oats is suggested to be a promising grain in the whole-grains landscape (Don, 2019).

Due to its high spectrum of bioactive molecules, there is an increased demand of oat for different applications. This appeal challenges oat growth under different environmental conditions and geographical locations. Oat breeding and improvement key to meeting the quality requirements and oat adaptability for different end uses. As a result, the release of new oat varieties is continually required in order to remain competitive in terms of agronomics and disease resistance while maintaining appropriate quality. Genetic diversity aims to incorporate new feasible sources in plant breeding to continue increasing the grain yield, plant height and quality.

In contrast, since the time of first domestication, the genetic diversity of cereal crops has been continuously eroded. Thus, it is imperative that their gene pools be expanded by incorporating new resistance genes into breeding programs. In this regard, the wild relatives of oat and barley offer diverse sources of unique alleles for cultivated cereal improvement (Steffenson, 2007). For this purpose, a breeding program was launched by the National Institute for Agricultural Research (INRA-Morocco), aiming the development of new domesticated tetraploid oat lines of *Avena murphyi* Ladiz., having a high nutritive value conceived for a multiplicity of use.

In Morocco, yet only the research program conducted by INRA-Morocco has been advanced to introgress domesticated tetraploid oat lines, and to promote their exploration on a broad scale. In our survey, we have investigated the genetic variability of the main quantitative traits for ten selected domesticated tetraploid oat lines of *A. murphyi* ($2n = 4x = 28$) versus the nutritional composition of a hexaploid oat cultivar of *Avena sativa* L. ('Amlal') ($2n = 6x = 42$).

Material and methods

Abbreviations:

ADF, acid detergent fiber; **ADL**, acid detergent lignin; **CF**, crude fiber; **NDF**, neutral detergent fiber; **DM**, dry matter.

Сокращения:

ADF – кислотно-детергентное волокно; **ADL** – кислотно-детергентный лигнин; **CF** – сырая клетчатка; **NDF** – нейтральное детергентное волокно; **DM** – сухое вещество.

1. Plant material

Ten domesticated tetraploid oat lines of *A. murphyi* released by the National Institute for Agricultural Research (INRA) of Morocco, two accessions of the tetraploid parent *A. murphyi* P45-55 and P50-52, collected in 1985 from South of Spain and Northern region of Morocco, and handed by US-AID within the framework of a collaborative project, respectively, and a Moroccan cultivar of hexaploid oat *A. sativa* ('Amlal'), were used in this study. The domesticated lines are derivatives of four hybridization cycles involving both tetraploid accessions and the hexaploid parents respectively, and were maintained after pedigree selection due to their good agronomic performance.

2. Reagents and standards

All used standards and chemical reagents were of analytical grade and obtained from Sigma-Aldrich.

3. Chemical and physicochemical analysis

a. Sample preparation and milling process

Samples were harvested and processed for pre-cleaning, drying, and storage.

In order to perform the chemical analysis, seeds were grounded using a mill MF 10 basic IKA WERKE, and sieved at 1 mm. Chemical results concerning components, such as ash, proteins, fat, crude fiber, and micronutrients, were expressed on the basis of seed dry weight. The results were presented in g/100 g and all analyses were carried out in two or three replications.

Physicochemical characteristics

• Groat flour moisture

This parameter was determined by oven-drying samples at 80°C for 24 hrs and confirmed by near infrared spectrometry (Chopin Infraneo-NIRS). Results are reported on a dry weight basis (Brunner, Freed, 1994).

• Ash

Ash content of treated oat samples was determined using the AACC Method No. 08-01. In a dried and pre-weighed crucible, 3 g of a sample was ignited in muffle furnace at 550°C during 6 hrs to complete the burning of all organic matter. Samples were cooled, weighted, and calculated as ash percent (AACC, 1983).

• Crude proteins

Crude proteins (CP) were determined using the conventional Kjeldahl method (Velp Scientifica, DK 20-UDK 139), according to AOAC No. 979.09 procedure (AOAC, 1993).

• Crude fat

Total lipids (oil) from oat samples were determined using the Soxhlet method AACC No. 30-20, when 20 g of oat flour were placed in cellulose thimbles, fitted into the extractor. The crude fat was extracted with ethyl ether; the obtained mixture was subjected to concentration under vacuum, by rotary evaporator. The extracted fat was weighed and expressed in percent (%) (AACC, 1983).

• Total fiber fractions: CF, NDF, ADF, and ADL

For each sample, Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (ADF), Acid Detergent Lignin (ADL), and Crude Fiber (CF) were sequentially determined. CF was determined according to AOAC method No. 926.09 (AOAC, 1997). One gram of a sample was digested with 100 ml of 1.25% sulfuric acid in a beaker under reflux, for 30 min. The solution was then filtered through sintered glass crucible under vacuum. The residue was then washed with hot distilled water till being neutralized and then was transferred to a beaker to be refluxed for 30 min with 100 ml of 1.25% sodium hydroxide. Digested material was filtered and washed with hot water in or-

der to be neutralized. The washed material was dried at 130°C for 1 hr, cooled in a desiccator and weighted. The dried residue was ignited for 6 hr and reweighted. The NDF, ADF, and ADL were determined according to the method described by Van Soest et al. (1991). Afterwards, hemicellulose was calculated according to the formula (NDF – ADF) and cellulose with the formula (ADF – ADL) (Rinne et al., 1997).

• Mineral content determination

After incineration, mineral composition (Na⁺ and K⁺) was determined using a flame photometer. Calcium (Ca²⁺) and magnesium (Mg²⁺) were determined by complexometric titration. Oat grain phosphorus content was determined by the acidified solution reaction of ammonium molybdate containing ascorbic acid and antimony (Chapman, 1978). The grain phosphate reacted with the solution to form the ammonium molybdophosphate complex, which turned the solution to a blue color because of the effect of ascorbic acid. The amount of the absorbed light by the solution was measured at 825 nm with a UV-visible spectrophotometer (Jenway 6405 uv/vis spectrometer) (Chapman, 1978).

Trace elements, including iron (Fe), copper (Cu), manganese (Mn), zinc (Zn), and nickel (Ni), were analyzed by atomic absorption spectrometry (Pinta 1971) in a flame air-acetylene. The measured absorption was realized at a specific wavelength of 248.3 nm to measure the concentrations of Fe, Cu, Mn, Zn, and Ni in the sample solution.

• Carbohydrates

Carbohydrates (CHO) were determined on the basis of the difference of all other basic components (Duchonová et al., 2013), weight (in grams) minus water, proteins, fat, ash, and fiber contents.

• Energy value

The energy value was calculated from the approximate chemical composition data (Duchonová et al., 2013). Energy value (Kcal) was calculated according to the formula:

$$E(\text{Kcal}) = \text{CP} \times 4 + \text{CHO} \times 4 + \text{fat} \times 9 \quad (1)$$

The values were expressed in Kcal/100 g.

4. Statistical analysis

Data were expressed as the mean values $\pm$ standard deviation (SD) for each measurement. All experiments were carried out using two or three replicates. The results were statistically analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA) by comparing mean values of the 9 cultivars. In case of significant difference between lines, means were compared by the Duncan multiple range test.

Results and discussion

Chemical composition

As shown by Table 1, the analysis of protein contents among the investigated tetraploid oat cultivars of *A. murphyi* showed important levels of protein contents, ranging from 10.54 $\pm$ 0.27% to 115.2 $\pm$ 1.16% for the lines *A. murphyi* 1 and 9. The line *A. murphyi* 8 and 9 with 13.66 $\pm$ 0.93 and 15.12 $\pm$ 1.16, respectively, presented the highest contents. In comparison with the previous studies performed on the tetraploid oat lines collected from Morocco, the recorded contents were about 10–35% higher than the ones reported by H. Saidi et al. (2013) and R. Manzali et al. (2018).

Owing to the valuable fatty acid composition of its grain fat, oat has a high nutritional potential. Oat genotypes usually include more fat than the other small cereal grains (Mut et al., 2018). The total concentration of fat in the analyzed lines var-

ied between 3.93 $\pm$ 0.64% and 10.14 $\pm$ 0.75%. The assisted variations in terms of fat contents among samples are a good indicator of gene diversity. Furthermore, knowing the complexity of oat processing for the grains with high fat content (Decker, 2014), this variability can be seen as a valuable feature for oat valorization. Thus, suggesting oriented uses, according to the nutrient content or properties.

Among the studied *A. murphyi* domesticated tetraploid oat lines, line 1 had significantly higher thousand-seed weight (TSW = 54.66 g) than both the other lines and the control cultivar of hexaploid oat *A. sativa* (cv. 'Amlal'). Test weight, TSW and chemical composition are the common traits used to characterize and define oat grain quality. Thousand-seed weight was reported to be one of the most important grain yield indicators for cereals. Oat cultivars with higher values of this parameter are generally considered to be of higher quality than those with low values (Mut et al., 2018).

According to the result of mean comparison, the maximum of ash concentration (5.18 $\pm$ 0.2%) was obtained for *A. murphyi* line 3 and the minimum of 2.71 $\pm$ 0.26% was registered for *A. murphyi* line 6. Mainly all the tetraploid lines presented interesting concentration of ash reflecting their good mineral contents.

We also noted, based on the used statistical method of analysis of variance, high significant differences ($P < 0.0001$) between the means of the moisture content, ash content and TSW. Concerning the energy value, it ranged from 293.59 $\pm$ 1.59 Kcal to 356.37 $\pm$ 5.28 Kcal, a variation mainly due to fat content differences between the assessed lines.

Micronutrient composition

The content of abundant minerals and trace elements in oat tetraploid lines grains are summarized in Table 2. Concentrations of macroelements K, Ca, Na, P, and Mg were assessed; they tended to be similar to the obtained values for the tetraploid parents of *A. murphyi* P₄₅₋₅₅ and P₅₀₋₅₂. Meanwhile, the analysis of the tested samples indicated a slight improvement for both magnesium and calcium contents in *A. murphyi* line 6 (0.34 $\pm$ 0.02 mg/100 g) and *A. murphyi* line 9 (0.36 $\pm$ 0.12 mg/100 g), respectively, which corresponded to the research by Doehlert et al. (2013) on macro elements Mg, P, K and Ca, as the most abundant minerals in oats.

While for microelements, especially Fe, Cu and Mn, the concentrations were relevant for the tetraploid lines compared to their tetraploid parents P₄₅₋₅₅ and P₅₀₋₅₂. The highest values for Fe, Cu and Mn were obtained in the *A. murphyi* line 7 (13.1 $\pm$ 1.9 mg/100 g), *A. murphyi* line 5 (1.5 mg/100 g) and *A. murphyi* line 9 (6.55 $\pm$ 0.15 mg/100 g), respectively. For Zinc and Nickel contents, they were broadly narrow to the levels recorded for the tetraploid parents P₄₅₋₅₅ and P₅₀₋₅₂, ranging from 2.7 mg/100 g to 5.65 mg/100 g, and 0.6 mg/100 g to 0.9 mg/100 g respectively.

The identified cultivars showed relatively important contents for all the trace minerals. Nevertheless, Fe, Cu and Mn showed more phenotypic variability among the tested lines. The average contents reported by Bitvutskii et al., (2017) for Fe, Zn and Mn in oat cultivars were relatively lower than the ones measured for our material.

From the nutritional point of view, some of the trace elements, including Fe, Mg, Zn and Co, are essential micronutrients for biochemical functions in all living organisms, and have a tremendous impact on human health and wellbeing (Jakobsone et al., 2019).

For instance, in Morocco, mineral and vitamin deficiencies continue to impact a great share of the population. As the re-

Table 1. Chemical composition of new domesticated Moroccan tetraploid oat lines of *Avena murphyi* Ladiz.
Таблица 1. Химический состав новых культурных марокканских тетраплоидных линий овса *Avena murphyi* Ladiz.

Lines	Content of elements						
	Moisture (%)	Ash (%)	Fat (%)	TSW (g)	Protein (%)	Carbohydrate (%)	Energy (Kcal/100 g)
<i>A. murphyi</i> 1	7.14 ± 0.01	3.54 ± 0.25	4.14 ± 0.77	54.66 ± 0.42	12.03 ± 0.01	53.64 ± 2.8	296.87 ± 3.14
<i>A. murphyi</i> 2	6.8 ± 0	5.05 ± 0.2	6.02 ± 0.6	33.45 ± 1.17	10.54 ± 0.27	56.56 ± 3.31	318.17 ± 3.36
<i>A. murphyi</i> 3	6.69 ± 0.02	5.18 ± 0.2	5.81 ± 0.57	40.24 ± 1.26	12.01 ± 0.07	52.19 ± 3.38	304.7 ± 1.42
<i>A. murphyi</i> 4	7.45 ± 0.12	3.53 ± 0.11	5.69 ± 0.32	32.11 ± 1.37	10.59 ± 0.1	53.66 ± 1.48	305.96 ± 2.30
<i>A. murphyi</i> 5	8.28 ± 0.03	2.84 ± 0.05	8.19 ± 0.61	31.57 ± 0.64	12.6 ± 0.23	49.64 ± 1.4	322.38 ± 3.32
<i>A. murphyi</i> 6	7 ± 0.07	2.71 ± 0.26	6.09 ± 0.6	31.94 ± 1.79	12.34 ± 0.02	51.88 ± 2.68	309.65 ± 1.95
<i>A. murphyi</i> 7	7.22 ± 0.07	3.3 ± 0.31	10.14 ± 0.75	33.18 ± 0.73	12.19 ± 0.12	52.15 ± 1.91	356.37 ± 5.28
<i>A. murphyi</i> 8	8.23 ± 0.05	4.0 ± 0.1	8.82 ± 0.16	37.59 ± 1.96	13.66 ± 0.93	48.68 ± 3.75	321.97 ± 2.49
<i>A. murphyi</i> 9	8.33 ± 0.02	4.73 ± 0.17	5.6 ± 0.46	39.15 ± 2.00	15.12 ± 1.16	50.91 ± 4.17	307.00 ± 5.74
<i>A. murphyi</i> 10	7.99 ± 0.02	4.47 ± 0.11	3.93 ± 0.64	39.41 ± 1.16	11.68 ± 0.07	53.38 ± 2.02	293.59 ± 1.59
P45-55	6.2 ± 0.15	3.12 ± 0.19	5.96 ± 0.38	41.84 ± 3.33	14.7 ± 0.28	54.24 ± 0.97	315.77 ± 3.30
P50-52	7.49 ± 0.09	4.36 ± 0.11	4.97 ± 0.58	40.51 ± 1.05	11.82 ± 0.09	57.38 ± 3.95	316.76 ± 4.17
Amlal	7.9 ± 0.01	4.38 ± 0.25	7.99 ± 0.4	26.49 ± 1.34	10.46 ± 0.12	52.96 ± 3.75	320.89 ± 1.37

Table 2. Mineral composition of new domesticated Moroccan tetraploid oat lines of *Avena murphyi* Ladiz.
Таблица 2. Минеральный состав новых культурных марокканских тетраплоидных линий овса *Avena murphyi* Ladiz.

Lines	Content of elements (mg/100 g DW)									
	P	Na	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	Ni
<i>A. murphyi</i> 1	0.31 ± 0.01	0.07 ± 0	0.34 ± 0	0.18 ± 0.02	0.2 ± 0.06	5.65 ± 0.05	2.7 ± 0	1.15 ± 0.05	4.9 ± 0.1	0.8 ± 0
<i>A. murphyi</i> 2	0.28 ± 0.01	0.09 ± 0	0.33 ± 0.01	0.2 ± 0.04	0.18 ± 0.04	6.45 ± 0.05	3.25 ± 0.15	1.15 ± 0.05	5.2 ± 0.1	0.9 ± 0
<i>A. murphyi</i> 3	0.29 ± 0	0.07 ± 0	0.34 ± 0.02	0.22 ± 0.02	0.24 ± 0.02	6.35 ± 0.15	3.45 ± 0.05	1.25 ± 0.05	5.3 ± 0.2	0.75 ± 0.05
<i>A. murphyi</i> 4	0.31 ± 0	0.08 ± 0	0.33 ± 0	0.16 ± 0.04	0.19 ± 0.02	7.05 ± 0.25	4.25 ± 0.15	0.95 ± 0.05	5.2 ± 0	0.7 ± 0
<i>A. murphyi</i> 5	0.3 ± 0.02	0.1 ± 0	0.35 ± 0	0.2 ± 0	0.2 ± 0.01	10.95 ± 0.45	4.75 ± 0.15	1.5 ± 0	6.25 ± 0.35	0.7 ± 0
<i>A. murphyi</i> 6	0.31 ± 0.01	0.07 ± 0	0.32 ± 0	0.34 ± 0.02	0.25 ± 0.03	6.65 ± 0.25	4.05 ± 0.15	0.85 ± 0.05	6.25 ± 0.15	0.6 ± 0
<i>A. murphyi</i> 7	0.31 ± 0.01	0.07 ± 0	0.32 ± 0	0.26 ± 0.06	0.15 ± 0.1	13.1 ± 1.9	4.05 ± 0.05	1 ± 0.1	6.25 ± 0.05	0.8 ± 0
<i>A. murphyi</i> 8	0.29 ± 0	0.09 ± 0	0.34 ± 0.01	0.14 ± 0.02	0.25 ± 0.01	6.15 ± 0.05	3 ± 0.1	1 ± 0.1	5.1 ± 0.1	0.8 ± 0
<i>A. murphyi</i> 9	0.32 ± 0.02	0.08 ± 0	0.32 ± 0	0.2 ± 0.04	0.36 ± 0.12	6.55 ± 0.15	5.65 ± 0.15	0.75 ± 0.05	6.55 ± 0.15	0.9 ± 0.1
<i>A. murphyi</i> 10	0.36 ± 0	0.09 ± 0	0.37 ± 0	0.16 ± 0	0.31 ± 0.02	7.25 ± 0.15	4.5 ± 0.1	0.85 ± 0.05	6.05 ± 0.15	0.9 ± 0
P45-55	0.36 ± 0.01	0.11 ± 0	0.38 ± 0	0.16 ± 0.04	0.24 ± 0.02	7.25 ± 0.15	3.9 ± 0.1	0.85 ± 0.05	4.2 ± 0.1	0.8 ± 0
P50-52	0.32 ± 0.01	0.09 ± 0	0.44 ± 0	0.24 ± 0.04	0.28 ± 0.02	6.1 ± 0.1	4 ± 0.1	0.6 ± 0	6.05 ± 0.05	0.5 ± 0.0
Amlal	0.34 ± 0	0.07 ± 0	0.32 ± 0	0.32 ± 0.04	0.24 ± 0.02	6.4 ± 0.2	3.1 ± 0.2	0.55 ± 0.05	4.6 ± 0.1	0.55 ± 0.05

sults had promising outcomes for micronutrient contents, these lines could be used for human consumption as well as crossing parents in breeding programs targeting at high microelement contents.

Fiber fractions composition

According to the average of the distribution of fiber fractions ratios, the means for ADF and NDF ranged from 10.21 to 24.17% and 31.69 to 41.76%, respectively. The lowest recorded ADF and NDF values were obtained for the lines *A. murphyi* 4 and *A. murphyi* 8. The levels of NDF and ADF within tetraploid lines were slightly higher than the ranges previously reported by Mut et al., (2018). This study showed that cellulose content varied from 24.05% (*A. murphyi* 2) to 36.17% (*A. murphyi* 7), with an average of 31.18%. Concerning hemicellulose content, seven lines lied in higher range, exceeding 20.34%, and remaining lines had medium content (11.32 to 17.59%) (Table 3).

It is designed to grow under marginal and unfertile-arid lands, while offering high-dense grains. Present findings point out that the selected tetraploid lines provide interesting nutritional profiles and quality traits. Besides, plant breeders have long been working to develop high-yielding and consistent good-quality cultivars. The assessed tetraploid lines present good combination of proteins, fat, fiber fractions and micronutrients. In addition, being domesticated tetraploid lines, they are natural genetic sources, providing many opportunities to explore in breeding programs and improve oat cultivation at both national and international levels.

These genotypes are now being grown in different locations and further being tested for abovementioned parameters and yield characteristics in order to select the best genotype; they may be explored in breeding programs for the inclusion of desirable characters into elite breeding lines to develop high-yielding cultivars possessing better nutritional quality traits.

Table 3: Content of fiber fractions in new domesticated Moroccan tetraploid oat lines of *Avena murphyi* Ladiz.

Таблица 3: Содержание фракций клетчатки в новых культурных марокканских линиях тетраплоидного овса *Avena murphyi* Ladiz.

Lines	Content of elements (%)						
	DM	CF	NDF	ADF	ADL	Cellulose	Hemicellulose
<i>A. murphyi</i> 1	92.85 ± 0.01	20.42 ± 0.54	41.76 ± 0.45	24.17 ± 0.76	9.87 ± 0.82	31.89 ± 1.27	17.59 ± 1.21
<i>A. murphyi</i> 2	93.2 ± 0	16.44 ± 0.97	32.28 ± 0.24	20.96 ± 0.81	8.22 ± 0.4	24.05 ± 0.64	11.32 ± 1.05
<i>A. murphyi</i> 3	93.3 ± 0.02	19.44 ± 0.37	35.7 ± 2.47	11.91 ± 0.72	8.42 ± 0.67	27.29 ± 1.8	23.8 ± 3.19
<i>A. murphyi</i> 4	92.54 ± 0.12	20.04 ± 0.89	37.47 ± 0.26	10.21 ± 0.19	6.98 ± 0.26	30.48 ± 0	27.26 ± 0.45
<i>A. murphyi</i> 5	91.72 ± 0.03	19.03 ± 0.71	40.45 ± 1.24	12.57 ± 0.77	5.21 ± 0.58	35.23 ± 1.82	27.87 ± 0.47
<i>A. murphyi</i> 6	92.99 ± 0.07	20.45 ± 1.02	38 ± 0.75	16.3 ± 0.5	4.57 ± 0.41	33.43 ± 1.17	21.7 ± 0.25
<i>A. murphyi</i> 7	92.77 ± 0.07	14.65 ± 0.43	39.69 ± 0.95	11.04 ± 0.22	3.53 ± 0.11	36.17 ± 0.84	28.65 ± 1.17
<i>A. murphyi</i> 8	91.76 ± 0.05	17.77 ± 0.36	31.69 ± 0.09	16.19 ± 0.85	4.55 ± 0.09	27.14 ± 0	15.49 ± 0.76
<i>A. murphyi</i> 9	91.67 ± 0.02	16.82 ± 0.07	36.77 ± 0.11	16.42 ± 0.33	2.04 ± 0.19	34.72 ± 0.3	20.34 ± 0.22
<i>A. murphyi</i> 10	92 ± 0.06	19.72 ± 0.34	36.49 ± 0.24	13.77 ± 0.76	5.02 ± 0.31	31.44 ± 0.06	22.72 ± 1
P45-55	93.8 ± 0.15	19.93 ± 0.99	44.47 ± 0.62	20.74 ± 0.23	5.58 ± 1	38.89 ± 0.38	23.73 ± 0.86
P50-52	92.51 ± 0.09	15.04 ± 1.6	44.23 ± 0.38	24.67 ± 0.13	15.81 ± 0.46	28.42 ± 0.08	19.56 ± 0.25
Amlal	92.1 ± 0.01	17.51 ± 1.11	41.78 ± 0.42	20 ± 0.85	4.14 ± 0.21	37.64 ± 0.21	21.78 ± 1.26

The present investigation showed that lignin content varied from 2.04 to 9.87%, with an average of 5.84%. Six lines possessed medium amount of lignin (2.04 to 5.21%) compared to the tetraploid parents of *A. murphyi* P₄₅₋₅₅ (5.58 ± 1%) and P₅₀₋₅₂ (15.81 ± 0.46%) (see Table 3). Many reports advanced an inverse correlation between lignin content and digestibility (Vivekanand et al., 2014; Prates et al., 2018) and thus, the lines *A. murphyi* 6, 7, 8 and 9 with moderate levels of ADL may present good digestibility.

In the current context of climate change constraints, oat is considered one of the most suitable cereal for growing.

Conclusion

The results of the performed characterization lead to conclude that the new developed tetraploid oat lines are of a good nutritional value, rich in biochemical substances and their utilization in oat breeding and human diet is beneficial for human wellbeing. Selected lines can be considered as a release of new plant material with high-production and good-quality grain, thus contributing traits and good adaptation to climate.

These lines will increase the diversity among cultivated oat as rich sources of resistance genes, against various patho-

gens and pests, and can broaden the germplasm resources of oat. Additional research is warranted to exploit the genetic diversity and the valuable traits of these accessions.

References / Литература

- AACC – American Association of Cereal Chemists. Approved Methods. 8th ed. St. Paul, MN; 1983.
- AOAC – Association of Official Analytical Chemists. Methods of analysis for nutrition labeling. Arlington, TX; 1993.
- AOAC – Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 16th ed., Washington DC; USA; 1997.
- Bayram C., Ayan İ. Determination the effects of nitrogen doses on hay yield and quality characteristics of some oat cultivars/lines. In: *VIII International Scientific Agriculture Symposium, "Agrosym 2017", Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 2017. Book of Proceedings*. Sarajevo: University of East Sarajevo; 2017. p.744-749.
- Bitvutskii N., Yakkonen K., Loskutov I. Content of iron, zinc and manganese in grains of *Triticum aestivum*, *Secale cereale*, *Hordeum vulgare* and *Avena sativa* cultivars registered in Russia. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2017;64(8):1955-1961. DOI: 10.1007/s10722-016-0486-9
- Brunner B.R., Freed R.D. Oat grain β -glucan content as affected by nitrogen level, location, and year. *Crop Science*. 1994;34(2):473-476. DOI: 10.2135/cropsci1994.0011183X003400020031x
- Chapman H.D., Pratt P.F. Methods of analysis for soils, plants and waters. Oakland, CA: University of California; 1978.
- Decker E.A., Rose D.J., Stewart D. Processing of oats and the impact of processing operations on nutrition and health benefits. *The British Journal of Nutrition*. 2014;112(Suppl 2):58-64. DOI: 10.1017/S000711451400227X.
- Doehlert D.C., Thavarajah D., Thavarajah P., Ohm J.B. Detailed composition analyses of diverse oat genotype kernels grown in different environments in North Dakota. *Cereal Chemistry*. 2013;90(6):572-578. DOI: 10.1094/CCHEM-09-12-0111-R
- Dong J.L., Yang M., Shen R.L., Zhai Y.F., Yu X., Wang Z. Effects of thermal processing on the structural and functional properties of soluble dietary fiber from whole grain oats. *Food Science and Technology International*. 2019;25(4):282-294. DOI: 10.1177/1082013218817705
- Duchoňová L., Polakovičová P., Rakická M., Šturdík E. Characterization and selection of cereals for preparation and utilization of fermented fiber-beta-glucan product. *The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2013;2(2):2187.
- Jakobsone I., Zute S., Bleidere M., Kantane I., Ece L., Bartkevics V. Macro and trace elements in oat cultivars bred in Latvia. *Zemdirbyste = Agriculture*. 2019;106(1):21-28. DOI: 10.13080/z-a.2019.106.003
- Lásztity R. Oat grain – a wonderful reservoir of natural nutrients and biologically active substances. *Food Reviews International*. 1998;14(1):99-119. DOI: 10.1080/87559129809541150
- Manzali R., Douaik A., Bouksaim M., Ladizinsky G., Saidi N. Assessment of important technological parameters of new Moroccan domesticated tetraploid oat lines of *Avena magna*. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(1):32-42. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-1-32-42
- Mut Z., Akay H., Doğanay Ö., Köse E. Grain yield, quality traits and grain yield stability of local oat cultivars. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2018;18(1):269-281. DOI: 10.4067/S0718-95162018005001001
- Pinta M. (ed.). Spectrométrie d'absorption atomique. Tome II, Application à l'analyse chimique. Paris: Masson et Co.; ORSTOM; 1971. [in French]
- Prates L.L., Refat B., Lei Y., Prates M.L., Yu P. Relationship of carbohydrates and lignin molecular structure spectral profiles to nutrient profile in newly developed oats cultivars and barley grain. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2018;188:495-506. DOI: 10.1016/j.saa.2017.07.042
- Ramzan S. Oat: a novel therapeutic ingredient for food applications. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2020;9(4):756-760. DOI: 10.15414/jmbfs.2020.9.4.756-760
- Rinne M., Huhtanen P., Jaakkola S. Grass maturity effects on cattle fed silage-based diets. 2. Cell wall digestibility, digestion and passage kinetics. *Animal Feed Science and Technology*. 1997;67(1):19-35. DOI: 10.1016/S0377-8401(96)01142-X
- Saidi N., Saidi S., Hilali A., Bencheikroun M., Al Faiz C., Bouksaim M. et al. Improvement of oat hexaploid lines's groat nutritive value via hybridisation with tetraploid oat *A. magna*. *American Journal of Research Communication*. 2013;1(9):126-135.
- Singh S., Kaur M., Sogi D.S. A comparative study on chemical composition, color, and functional characteristics of flours and protein concentrates from different oat cultivars. *International Journal of Recent Scientific Research*. 2018;9(5):2666-2667. DOI: 10.24327/ijrsr.2018.0905.2100
- Soycan G., Schär M.Y., Kristek A., Boberska J., Alsharif S.N.S., Corona G. et al. Composition and content of phenolic acids and avenanthramides in commercial oat products: Are oats an important polyphenol source for consumers? *Food chemistry: X*. 2019;3:100047. DOI: 10.1016/j.fochx.2019.100047
- Steffenson B.J., Olivera P., Roy J.K., Jin Y., Smith K.P., Muehlbauer G. A walk on the wild side: mining wild wheat and barley collections for rust resistance genes. *Australian Journal of Agricultural Research*. 2007;58(6):532-544. DOI: 10.1071/AR07123
- Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 1991;74(10):3583-3597. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
- Vivekanand V., Chawade A., Larsson M., Larsson A., Olsson O. Identification and qualitative characterization of high and low lignin lines from an oat TILLING population. *Industrial Crops and Products*. 2014;59:1-8. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.04.019

Information about the authors

Rajae Manzali, PhD, Department of Applied Biology and Food Processing, Faculty of Sciences and Techniques, Hassan First University, P.O. Box 577, Settat 26000, Morocco, National Institute for Agricultural Research, Regional Centre for Agricultural Research of Rabat, P.O. Box 6570, Rabat Institutes, Rabat 10101, Morocco, raja.manz@live.fr, <https://orcid.org/0000-0001-8746-1229>

Mohamed Bouksaim, PhD, National Institute for Agricultural Research, Regional Centre for Agricultural Research of Rabat, P.O. Box 6356, Rabat Institutes, Rabat 10101, Morocco, mbouksaim@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2369-1284>

Ahmed Douaik, PhD, National Institute for Agricultural Research, Regional Centre for Agricultural Research of Rabat, P.O. Box 6356, Rabat Institutes, Rabat 10101, Morocco, ahmed.douaik@inra.ma, <https://orcid.org/0000-0001-7374-4674>

Gideon Ladizinsky, Professor, Ex Principal Investigator, United States Agency for International Development, Project No. TAMOU 97-053, Washington DC 20523, USA, ladizins@agri.huji.ac.il, <https://orcid.org/0000-0001-5454-4095>

Nezha Saidi, PhD, National Institute for Agricultural Research, Regional Centre for Agricultural Research of Rabat, P.O. Box 6356, Rabat Institutes, Rabat 10101, Morocco, nezha.saidi@inra.ma, <https://orcid.org/0000-0002-2665-3574>

Информация об авторах

Радже Манзали, доктор философии, кафедра прикладной биологии и производства продуктов питания, научно-технический факультет, Университет Хассана Первого, 26000 Марокко, Сеттат, п/я 577, Национальный институт сельскохозяйственных исследований, Рабатский региональный центр сельскохозяйственных исследований, 10101 Марокко, Рабат, Институты Рабата, п/я 6570, raja.manz@live.fr, <https://orcid.org/0000-0001-8746-1229>

Мохамед Буксаим, доктор философии, Национальный институт сельскохозяйственных исследований, Рабатский региональный центр сельскохозяйственных исследований, 10101 Марокко, Рабат, Институты Рабата, п/я 6356, mbouksaim@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2369-1284>

Ахмед Дуаик, доктор философии, Национальный институт сельскохозяйственных исследований, Рабатский региональный центр сельскохозяйственных исследований, 10101 Марокко, Рабат, Институты Рабата, п/я 6356, ahmed.douaik@inra.ma, <https://orcid.org/0000-0001-7374-4674>

Гидеон Ладизинский, профессор, бывший главный исследователь, Агентство США по международному развитию, 20523 США, Вашингтон, округ Колумбия, проект № TAMOU 97-053, ladizins@agri.huji.ac.il, <https://orcid.org/0000-0001-5454-4095>

Нежа Саиди, доктор философии, Национальный институт сельскохозяйственных исследований, Рабатский региональный центр сельскохозяйственных исследований, 10101 Марокко, Рабат, Институты Рабата, п/я 6356, nezha.saidi@inra.ma, <https://orcid.org/0000-0002-2665-3574>

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The article was submitted on 21.09.2022; approved after reviewing on 19.12.2022; accepted for publication on 02.03.2023. Статья поступила в редакцию 21.09.2022; одобрена после рецензирования 19.12.2022; принята к публикации 02.03.2023.

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 578.5:632.8+635.21

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-137-143

Влияние аллельного полиморфизма 3'-нетранслируемой области гена *StTCP23* на толерантность сортов картофеля к вирусу веретеновидности клубнейН. В. Мироненко¹, А. В. Кочетов^{2,3}, О. С. Афанасенко¹¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия*² *Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия*³ *Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия***Автор, ответственный за переписку:** Нина Васильевна Мироненко, nina2601mir@mail.ru

Актуальность. Известно, что симптоматика больных растений картофеля может быть результатом комплементарных взаимодействий между геномной РНК вируса веретеновидности клубней картофеля (PSTVd) и мРНК некоторых регуляторных генов, которые приводят к РНК-интерференции, синтезу малых интерферирующих РНК (vd-sRNA PSTVd) и нарушению морфогенеза. В то же время степень проявления симптомов при поражении вирусом варьирует у различных сортов картофеля. Впервые рассмотрена возможность предсказания взаимодействий участков 3' UTR различных аллелей гена *StTCP23*, кодирующего транскрипционный фактор, с комплементарными участками в составе геномной РНК PSTVd.

Материалы и методы. Материалом исследования служили растения восьми районированных сортов картофеля. Было секвенировано по шесть клонов каждого ампликона кДНК участка гена *StTCP23*, включающего 3' UTR-область, и охарактеризован аллельный состав таргетных участков 3' UTR размером 27 нуклеотидов.

Результаты. Всего выявлено 11 типов аллелей, которые различаются однонуклеотидными заменами и делециями различной длины. Сорта, имеющие аллель А с нуклеотидной последовательностью, идентичной референсной ('Gala', 'Colomba', 'Фаворит', 'Фиолетовый'), или высокую дозу аллеля С, имеющего делецию 4-х нуклеотидов ('Impala'), отличались высокой восприимчивостью уже при первичном заражении PSTVd. Сорта 'Крепыш', 'Labadia' и 'Riviera', отнесенные к толерантным сортам при первичной инокуляции, напротив, характеризуются отсутствием аллеля А и наличием сортоспецифичных мутантных аллелей.

Заключение. Высокая степень полиморфизма в сайте-мишени (3' UTR-области) гена *StTCP23* указывает на возможное давление отбора на этот локус. Можно предположить, что сорта с более короткими аллелями, которые имеют меньше оснований, комплементарных vd-sRNA в гипотетических дуплексах, и поэтому меньшую вероятность индуцировать сайленсинг гена-мишени, являются более толерантными к PSTVd при первичном заражении вирусом.

Ключевые слова: полиморфизм 3' UTR-области *StTCP23*, симптомы, РНК-интерференция PSTVd, сайленсинг гена-мишени

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 20-46-07001 «Молекулярно-генетические механизмы взаимоотношений в патосистеме *Solanum* spp. – вирус веретеновидности клубней картофеля (PSTVd) и особенности эпидемиологии вируса».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Мироненко Н.В., Кочетов А.В., Афанасенко О.С. Влияние аллельного полиморфизма 3'-нетранслируемой области гена *StTCP23* на толерантность сортов картофеля к вирусу веретеновидности клубней. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):137-143. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-137-143

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-137-143

Influence of allelic polymorphism in the 3' untranslated region of the *StTCP23* gene on the tolerance of potato cultivars to the potato spindle tuber viroidNina V. Mironenko¹, Alexey V. Kochetov^{2,3}, Olga S. Afanasenko¹¹ All-Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Россия² Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia³ Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, RussiaCorresponding author: Nina V. Mironenko, nina2601mir@mail.ru

Background. It is known that the pathological phenotype of potato plants can be mediated by complementary interactions between the genomic RNA of PSTVd and mRNA of some regulatory genes, which consequently lead to RNA interference, the synthesis of small interfering RNAs (vd-sRNA PSTVd), and impaired morphogenesis. At the same time, symptoms caused by the viroid may vary in different potato cultivars. Here we predict the interactions between the 3' UTRs of various alleles of the *StTCP23* transcription factor gene and the complementary regions in PSTVd genomic RNA.

Materials and methods. We selected eight commercial potato cultivars with different symptoms of viroid infection and disease. For each cultivar, six clones of each cDNA amplicon of *StTCP23* with a 3' UTR were identified, and the allelic compositions of the target regions within their 3' UTRs were characterized.

Results. In total, 11 types of alleles of the 3' UTR *StTCP23* segment complementary to the vd-sRNA PSTVd were identified. Cultivars with the A allele ('Gala', 'Colomba', 'Favorit', and 'Fioletovy') identical to the reference genome or a high dose of the C allele with a deletion of four nucleotides (cv. 'Impala') were characterized by high susceptibility already at the primary (first-year) infection with the PSTVd. Cvs. 'Krepysh', 'Labadia' and 'Riviera', classified as tolerant during primary inoculation, on the contrary, were characterized by the absence of the A allele and the presence of cultivar-specific mutant alleles.

Conclusion. A high degree of polymorphism in the target site (3' UTR region) of *StTCP23* indicates a possible selection pressure on this locus. It can be assumed that cultivars with shorter alleles, which have fewer bases complementary to vd-sRNA in hypothetical duplexes and therefore less likely to induce target gene silencing, are more tolerant to the PSTVd upon primary viroid infection.

Keywords: 3' UTR *StTCP23* mRNA polymorphism, symptoms, RNA interference, PSTVd, target gene silencing

Acknowledgements: the research was supported by a grant from the Russian Science Foundation, No. 20-46-07001 "Molecular and genetic mechanisms of plant pathogen interaction in the pathosystem of *Solanum* spp. – Potato spindle tuber viroid and features of the viroid's epidemiology on potato".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this paper.

For citation: Mironenko N.V., Kochetov A.V., Afanasenko O.S. Influence of allelic polymorphism in the 3' untranslated region of the *StTCP23* gene on the tolerance of potato cultivars to the potato spindle tuber viroid. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):137-143. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-137-143

Введение

Картофель – экономически значимая культура, что обуславливает активные молекулярно-генетические исследования процессов роста и развития растений, в частности клубнеобразования (Watanabe, 2015; Manrique-Carpintero et al., 2018; Navarro et al., 2021; Sano, 2021). Особую проблему составляют морфологические изменения в растениях картофеля, зараженных виroidом веретеновидности клубней картофеля (ВВКК), или PSTVd (Potato spindle tuber viroid). PSTVd относится к семейству виридов Pospoviroidea и представляет собой кольцевую молекулу однонитевой РНК размером около 360 нуклеотидов. Симптомы заболевания картофеля, вызываемые виroidом, выражаются в замедленном росте, утончении стеблей, деформациях листьев, пожелтении, некрозе и в изменении и различной степени деформации клубней.

Основными хозяевами PSTVd являются картофель и томаты. Размножение вирида поддерживается аппаратом транскрипции клеток растения-хозяина. В ядре растительной клетки происходит репликация, которая, по-видимому, сопровождается индукцией РНК-интерференции и появлением РНК-фрагментов размером 20–22 нуклеотида, так называемых малых РНК – производных от вирида (vd-sRNA).

Процесс РНК-интерференции индуцируется двуцепочечными РНК, которые формируются при взаимодействии комплементарных участков в составе одной молекулы или при взаимодействии с комплементарными (антисмысловыми) участками в составе других РНК; в этом процессе принимают участие малые интерферирующие РНК (siRNA) (El-Sappah et al., 2021). Комплементарные взаимодействия также возможны между геномной РНК вирида и клеточными мРНК. Геномная РНК вирида самокомплементарна и также инициирует процесс РНК-интерференции, при этом некоторые участки и соответствующие им vd-sRNA также комплементарны участкам в мРНК некоторых генов растений-хозяев, что может приводить к нарушению их экспрессии и связанной с этим симптоматики. Показано, что большинство vd-sRNA происходит из определенной части генома PSTVd, так называемого домена Р, или VMR (virulence-modulating region), которому приписывают функцию обеспечения патогенности вирида (Keese, Symons, 1985). На моделях PSTVd – томат/табак/картофель доказано, что возможно прямое взаимодействие vd-sRNA и таргетной нуклеотидной последовательности в мРНК гена растения-хозяина, комплементарной последовательности vd-sRNA (Adkar-Purushothama, Perreault, 2018). Следует также отметить, что исследование молекулярно-генетических механизмов взаимодействия генов картофеля и PSTVd осложнено тетраплоидностью генома у большинства сортов картофеля, возделываемых в производстве, и их высокой гетерозиготностью.

В последнее время появилось много молекулярно-генетических исследований, посвященных структуре и изменчивости вирида. PSTVd представлен многими штаммами, имеющими различия в нуклеотидной последовательности, которые также влияют на их вирулентность по отношению к основным растениям-хозяевам – картофелю и томатам. Известно несколько работ, демонстрирующих изменение экспрессии генов растений-хозяев, зараженных PSTVd, в результате воздействия vd-sRNA. Например, это *SIIGPETAL1* – ген фактора транскрипции и ген *SIOVA6*, контролирующие морфологию лепестков и фертильность у томатов (Aviña-Padilla et al., 2018), гены

CalS11-like и *CalS12-like*, кодирующие белки каллозы, компонента клеточной стенки пыльца томата (Adkar-Purushothama et al., 2015), гены картофеля, участвующие в синтезе гормонов – DWARF1/DIMINUTO, Gibberellin 7-oxidase и BEL5 (Katsarou et al., 2016). Показано, что в геноме растений томатов и картофеля имеются гены с участками, комплементарными vd-sRNA, которые являются потенциальными мишенями для индукции РНК-интерференции (Adkar-Purushothama, Perreault, 2018; Bao et al., 2019a).

Важную роль в развитии растений играют факторы транскрипции. В 1996–1997 гг. впервые было описано семейство генов TCP (Teosinte Branched1/Cycloidea/Proliferating cell factor), кодирующих транскрипционные факторы растений (Bao et al., 2019a; Bao et al., 2019b; Fang et al., 2021; Ren et al., 2021). Было показано, что члены этого семейства играют важную роль в регуляции многих аспектов роста и развития растений (Martín-Trillo, Cubas, 2010; Nicolas, Cubas, 2016). Вопросы эволюции и экспрессии генов факторов транскрипции TCP, обнаруженных в *Solanum tuberosum*, рассмотрены в обзоре (Bao et al., 2019b).

Фактор транскрипции TCP23 *Solanum tuberosum* (Acc. PGSC0003DMT400008728) состоит из 371 аминокислотного остатка и участвует в гормональной регуляции морфогенеза картофеля (Bao et al., 2019a; Bao et al., 2019b; Fang et al. 2021; Ren et al., 2021). Ген картофеля *StTCP23*, кодирующий фактор транскрипции TCP23, картирован на хромосоме 5 (Bao et al., 2019b).

На примере конкретной пары сорта 'Atlantic' и летального штамма RG1 PSTVd показано, что в составе 3' UTR мРНК гена *StTCP23* содержится участок нуклеотидной последовательности размером 21 нуклеотид, комплементарный VMR (virulence modulating region) области PSTVd (Bao et al., 2019a), что может обуславливать возможность сайленсинга этого гена, приводящего к фенотипическому проявлению в виде морфологических деформаций листьев и стеблей, а также образованию мелких уродливых клубней картофеля.

В любом локусе тетраплоидного генома существует до трех типов внутрилокусных взаимодействий: между двумя, тремя и четырьмя аллелями. В то же время дозировка аллелей может обуславливать аддитивные эффекты внутрилокусных взаимодействий (Manrique-Carpintero et al., 2018). Известны два варианта влияния аллельного полиморфизма генов в тетраплоидных сортах картофеля на экспрессию генов: преимущественная экспрессия отдельных аллелей и экспрессия, зависящая от числа копий аллелей (Pham et al., 2017). Тетраплоидные виды культурного картофеля являются автополиплоидами, и каждый сорт может иметь от одного до четырех типов аллелей гена. В связи с этим возникает проблема аллельного полиморфизма *StTCP23* и его влияния на экспрессию гена в ответ на заражение тем или иным штаммом вирида. При этом вполне логично предполагать активную работу механизма аллель-специфичного сайленсинга, индуцируемого vd-sRNA-молекулами вирида PSTVd по аналогии с моделью AS-RNAi (allele-specific gene silencing by RNA interference (RNAi)), предложенной Ohnishi et al. (2008).

Достигнутое понимание механизма сайленсинга 3' UTR-области *StTCP23* (Bao et al., 2019a) дает основание искать подходы для прогнозирования устойчивости сортов картофеля к конкретным штаммам вирида путем секвенирования 3' UTR-области гена *StTCP23* на 4-х гомологичных хромосомах и выявления участков, которые потенциально могут служить мишенями для сайленсинга.

водителя (http://www.genome.duke.edu/cores/microarray/services/rna-qc/documents/RNeasy_Mini_Handbook.pdf). РНК использовали для получения ампликонов кДНК гена *StTCP23* размером 400 п.н., включающих часть экзона и 3' UTR-область, с помощью одношаговой ОТ-ПЦР. Для ОТ-ПЦР использовали набор реагентов OneStep RT-PCR Kit (QIAGEN) в соответствии с инструкциями производителя. В ОТ-ПЦР использовали гено-специфичные праймеры *StTCP23-4F* (5'-GGTCATGCTAGTGGTTCTTC-3') и *StTCP23-2R* (5'-GAATGTAATATTCGAAACCC-3'), любезно предоставленные нам Др. Y. Matsushita (NARO, Institute of Vegetable and Floriculture Science, Япония). Ампликоны были клонированы в вектор pJET1.2 с помощью набора CloneJET PCR Cloning Kit (Thermo Scientific). Реакции секвенирования проводили с флакирующими вставку праймеров pJET1.2 Forward Sequencing Primer (5'-CGACTCACTATAGGGAGAGCGGC-3') и pJET1.2 Reverse Sequencing Primer (5'-AAGAACATCGATTTTCATGGCAG-3') на приборе MegaBACE 1000 Sequencing System (GE Healthcare / Amersham Biosciences, USA) с использованием реактивов: BrilliantDye™ Terminator, v. 3.1., полимер NimaPOP 7, набор D-Pure™ для очистки продуктов секвенирующей реакции (NimaGen, Netherlands).

Изучали аллельный полиморфизм 3'-нетранслируемой области гена *StTCP23* у восьми сортов картофеля. Для этого секвенировали по шесть клонов продукта амплификации участка гена, включающего 3' UTR, для каждого сорта. Особый интерес представляла нуклеотидная последовательность 3' UTR размером 27 нуклеотидов (референсная последовательность CP055238 сорта 'Solintus'), которая, согласно ранее полученным данным, может являться мишенью для сайленсинга гена *StTCP23*, индуцируемого vd-sRNA PSTVd (Bao et al., 2019a). Выявлен аллельный полиморфизм 3' UTR-участков между клонами одного ампликона каждого сорта (таблица). По-

Таблица. Окончание

Table. The end

Сорт / Cultivar	Количество клонов / Number of clones	Нуклеотидная последовательность таргетного участка гена <i>StTCP23</i> (5'→3') для взаимодействия с <i>vd-sRNA PSTVd</i> * / Nucleotide sequence of the target region of the <i>StTCP23</i> gene (5'→3') for the interaction with the <i>vd-sRNA PSTVd</i>	Тип аллеля / Allele type	Размер в нуклеотидах / Size in nucleotides
Фиолетовый / Fioletovy	2	GACUUUUUUUUUCUUUUUCUUUGU	A	27
	3	GACUUUUUUUUUCUUUUUCUU----GU	C	23
Крепыш / Krepysh	2	GACUUUUUUUUUCUUUUUCUU----GU	C	23
	1	GGCUUUUUUUUUUCUUUUUCUU----GU	I	23
	3	GA-UUUUUUUU-----UUUCUUGU	H	17
Labadia	3	GACUUUUUUUUUCUUUUUCUU----GU	C	23
	1	GACUUUUUUUUUU--UCU-UUUCUUGU	B	24
	2	GACUUUUUUUUU-C---U-UUUCUUGU	F	22
Riviera	2	GACUUUUUUUUUCUUUUUCUU----GU	C	23
	2	GACUUUUUUUUU-C---U-UUUCUUGU	F	22
	1	GACUUUUUUUUUU--UCU-UUUCUUGU	B	24
	1	GACUUUUUUUUUCUU--C--UCUUGU	D	23
Impala	4	GACUUUUUUUUUCUUUUUCUU----GU	C	23
	1	GACUUUUUUUU--CUUCU-UUUCUUGU	E	23
	1	GACUUUUUUUUU-----CUUGU	G	17

Примечание: * – референсная последовательность CP055238 сорта 'Solyntus', позиции нуклеотидов 5589401–5589428

Note: * – reference sequence CP055238 of cv. 'Solyntus', 5589401–5589428 nt

лиморфным вариантам, повторяющимся у двух, трех или четырех из шести клонов каждого ампликона или встречающимся у разных сортов, присвоены буквенные обозначения (A–K). Вариант A – полная нуклеотидная последовательность размером 27 н. – встречается у сортов 'Solyntus', 'Gala', 'Colomba', 'Фаворит' и 'Фиолетовый', а вариант C, содержащий делецию 4-х нуклеотидов, обнаружен у всех сортов, включая сорт 'Atlantic', использованный в работе Bao et al. (2019a), и, очевидно, является «мажорным» вариантом, так как выявлен у 22 клонов из 48 проанализированных. Вариант B имеет делецию трех, D – четырех, E, F и J – пяти нуклеотидов, I – замену одного нуклеотида, K – делецию одного нуклеотида и одну замену. Большую делецию размером 10 нуклеотидов имеют варианты G и H. По сходству выявленных аллелей участка 3' UTR сорта разделились на две группы: 'Gala', 'Colomba', 'Фаворит' и 'Фиолетовый' имеют аллели A и C, из них сорта 'Gala', 'Colomba' и 'Фаворит' еще имеют аллели K, F и J соответственно; сорта 'Крепыш', 'Labadia', 'Impala' и 'Riviera' также все имеют аллель C, но у них отсутствует аллель A, и в каждом сорте обнаружены дополнительные аллели (B, D, E, F, G, H, I). Нужно отметить, что из уникальных аллелей только аллель H встречалась три раза среди шести клонов в сорте 'Крепыш'. Аллели I, D, E, G встречаются по одному разу в сортах 'Крепыш', 'Impala' и 'Riviera'. Проанализированное количество клонов гена *StTCP23* (по шесть клонов каждого ампликона) позволя-

ет только приблизительно оценить дозу той или иной аллели участка 3' UTR в гене *StTCP23* (см. таблицу).

С уменьшением размера аллелей за счет делеций может уменьшаться число комплементарных оснований между таргетным участком 3' UTR-области гена *StTCP23* и *vd-sRNA PSTVd*. Аллельный полиморфизм участка 3' UTR-области *StTCP23* и «доза» определенного типа аллели в геноме может быть причиной различий сортов картофеля по восприимчивости к *PSTVd*.

Обсуждение результатов

На данном этапе исследований на ограниченной выборке сортов можно сгруппировать сорта по выраженности симптомов, вызываемых *PSTVd*, и наличию тех или иных аллельных вариантов 3' UTR-области *StTCP23*. При первичном заражении исследуемых сортов образовались как клубни с типичной для здоровых растений формой, так и с симптомами деформации. Сильная деформация отмечена на клубнях сортов 'Impala' (штамм FP10-13), 'Colomba', 'Фиолетовый', 'Gala' (штамм NicTr-3) и грушевидность клубней у сорта 'Фаворит' (штамм FP10-13) (Afanasenko et al., 2022). На рисунке приведен пример деформации клубней картофеля сорта 'Impala' при первичном заражении *PSTVd*.

Проявление симптомов деформации у первично инокулированных растений этих сортов свидетельствует об



Рисунок. Симптомы деформации на клубнях сорта 'Impala' через 90 суток после первичной инокуляции штаммом FP10-13

Figure. Symptoms of deformations on 'Impala' tubers 90 days after primary inoculation with strain FP10-13

их способности быстро накапливать инфекцию и, соответственно, сильной восприимчивости к PSTVd.

Однако при первичной инокуляции у некоторых сортов возможно отсутствие симптомов на клубнях пораженных растений. Клубни нормальной формы (типичной для здоровых растений) у зараженных PSTVd сортов 'Крепыш', 'Labadia', 'Riviera', и 'Фаворит' после периода покоя были высажены для наблюдения за симптомами развития болезни. Значительное замедление появления всходов по сравнению с контрольными здоровыми клубнями отмечено для сортов 'Крепыш' (19 суток), 'Фаворит' (30 суток); клубни сорта 'Riviera' не проросли. Для растений всех сортов была характерна мелколистность, утоньшение стебля, отставание в росте. Только у сорта 'Labadia' из всех изученных образовались мелкие деформированные клубни (Afanasenko et al., 2022).

Таким образом, можно констатировать, что сорта, имеющие высокую дозу аллеля С (сорт 'Impala') или аллель А ('Gala', 'Colomba', 'Фаворит', 'Фиолетовый'), отличались высокой восприимчивостью уже при первичном заражении PSTVd или сильной восприимчивостью на второй год высадки нормальных клубней. Сорта 'Крепыш', 'Labadia' и 'Riviera', отнесенные к толерантным сортам при первичной инокуляции, напротив, характеризуются отсутствием аллеля А и наличием сортоспецифичных мутантных аллелей (В, D, E, F, G, H). Однако для всех сортов отмечено сильное поражение растений второй репродукции, выращенных из инфицированных клубней.

Заключение

Выявленная нами высокая степень полиморфизма в сайте-мишени (3' UTR-области) гена *StTCP23* указывает на возможное давление отбора на этот локус. После соответствующей экспериментальной проверки при наличии функциональной связи аллельного состояния 3' UTR *StTCP23* с поражаемостью сорта виридом PSTVd выявленный аллельный полиморфизм может быть использован в качестве маркера для типирования сортов картофеля.

Таким образом, полученные результаты позволяют предположить, что сорта с более короткими аллелями, которые имеют меньше оснований, комплементарных vd-sRNA в гипотетических дуплексах и поэтому меньшую вероятность индуцировать сайленсинг гена-мишени,

являются более толерантными к PSTVd при первичном заражении виридом. Для подтверждения этой гипотезы требуются дальнейшие исследования, которые могут стать основанием для разработки диагностических маркеров для оценки степени поражаемости сорта виридом.

References / Литература

- Adkar-Purushothama C.R., Brosseau C., Giguère T., Sano T., Moffett P., Perreault J.P. Small RNA derived from the virulence modulating region of the potato spindle tuber viroid silences *callose synthase* genes of tomato plants. *The Plant Cell*. 2015;27(8):2178-2194. DOI: 10.1105/tpc.15.00523
- Adkar-Purushothama C.R., Perreault J.P. Alterations of the viroid regions that interact with the host defense genes attenuate viroid infection in host plant. *RNA Biology*. 2018;15(7):955-966. DOI: 10.1080/15476286.2018.1462653
- Afanasenko O.S., Lashina N.M., Mironenko N.V., Kyrova E.I., Rogozina E.V., Zubko N.G. et al. Evaluation of responses of potato cultivars to potato spindle tuber viroid and to mixed viroid/viral infection. *Agronomy*. 2022;12(12):2916. DOI: 10.3390/agronomy12122916
- Aviña-Padilla K., Rivera-Bustamante R., Kovalskaya N.Y., Hammond R.W. Pospiviroid infection of tomato regulates the expression of genes involved in flower and fruit development. *Viruses*. 2018;10(10):516. DOI: 10.3390/v10100516
- Bao S., Owens R.A., Sun Q., Song H., Liu Y., Eamens A.L. et al. Silencing of transcription factor encoding gene *StTCP23* by small RNAs derived from the virulence modulating region of potato spindle tuber viroid is associated with symptom development in potato. *PLoS Pathogens*. 2019a;15(12):e1008110. DOI: 10.1371/journal.ppat.1008110
- Bao S., Zhang Z., Lian Q., Sun Q., Zhang R. Evolution and expression of genes encoding TCP transcription factors in *Solanum tuberosum* reveal the involvement of *StTCP23* in plant defence. *BMC Genetics*. 2019b;20(1):91. DOI: 10.1186/s12863-019-0793-1
- Doebley J., Stec A., Hubbard L. The evolution of apical dominance in maize. *Nature*. 1997;386(6624):485-488. DOI: 10.1038/386485a0
- El-Sappah A.H., Yan K., Huang Q., Islam M.M., Li Q., Wang Y. et al. Comprehensive mechanism of gene silencing and its role in plant growth and development. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:705249. DOI: 10.3389/fpls.2021.705249

- Fang Y., Zheng Y., Lu W., Li J., Duan Y., Zhang S. et al. Roles of miR319-regulated TCPs in plant development and response to abiotic stress. *The Crop Journal*. 2021;9(1):17-28. DOI: 10.1016/j.cj.2020.07.007
- Katsarou K., Wu Y., Zhang R., Bonar N., Morris J., Hedley P.E. et al. Insight on genes affecting tuber development in potato upon Potato spindle tuber viroid (PSTVd) infection. *PLoS One*. 2016;11(3):e0150711. DOI: 10.1371/journal.pone.0150711
- Keese P., Symons R.H. Domains in viroids: evidence of inter-molecular RNA rearrangements and their contribution to viroid evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1985;82(14):4582-4586. DOI: 10.1073/pnas.82.14.4582
- Kosugi S., Ohashi Y. PCF1 and PCF2 specifically bind to cis elements in the rice proliferating cell nuclear antigen gene. *The Plant Cell*. 1997;9(9):1607-1619. DOI: 10.1105/tpc.9.9.1607
- Luo D., Carpenter R., Vincent C., Copsey L., Coen E. Origin of floral asymmetry in *Antirrhinum*. *Nature*. 1996;383(6603):794-799. DOI: 10.1038/383794a0
- Manrique-Carpintero N.C., Coombs J.J., Pham G.M., Laimbeer F.P.E., Braz G.T., Jiang J. et al. Genome reduction in tetraploid potato reveals genetic load, haplotype variation, and loci associated with agronomic traits. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:944. DOI: 10.3389/fpls.2018.00944
- Martin-Trillo M., Cubas P. TCP genes: a family snapshot ten years later. *Trends in Plant Science*. 2010;15(1):31-39. DOI: 10.1016/j.tplants.2009.11.003
- Navarro B., Flores R., Serio F.D. Advances in viroid-host interactions. *Annual Review of Virology*. 2021;8(1):305-325. DOI: 10.1146/annurev-virology-091919-092331
- Nicolas M., Cubas P. TCP factors: new kids on the signaling block. *Current Opinion in Plant Biology*. 2016;33:33-41. DOI: 10.1016/j.pbi.2016.05.006
- Ohnishi Y., Tamura Y., Yoshida M., Tokunaga K., Hohjoh H. Enhancement of allele discrimination by introduction of nucleotide mismatches into siRNA in allele-specific gene silencing by RNAi. *PLoS One*. 2008;3(5):e2248. DOI: 10.1371/journal.pone.0002248
- Pham G.M., Newton L., Wiegert-Rininger K., Vaillancourt B., Douches D.S., Buell C.R. Extensive genome heterogeneity leads to preferential allele expression and copy number-dependent expression in cultivated potato. *The Plant Journal*. 2017;92(4):624-637. DOI: 10.1111/tpj.13706
- Ren L., Wu H., Zhang T., Ge X., Wang T., Zhou W. et al. Genome-wide identification of TCP transcription factors family in sweet potato reveals significant roles of miR319-targeted TCPs in leaf anatomical morphology. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:686698. DOI: 10.3389/fpls.2021.686698
- Sano T. Progress in 50 years of viroid research – Molecular structure, pathogenicity, and host adaptation. *Proceedings of the Japan Academy. Series B: Physical and Biological Sciences*. 2021;97(7):371-401. DOI: 10.2183/pjab.97.020
- Sevestre F., Facon M., Wattebled F., Szydłowski N. Facilitating gene editing in potato: a Single-Nucleotide Polymorphism (SNP) map of the *Solanum tuberosum* L. cv. Desiree genome. *Scientific Reports*. 2020;10(1):2045. DOI: 10.1038/s41598-020-58985-6
- Watanabe K. Potato genetics, genomics, and applications. *Breeding Science*. 2015;65(1):53-68. DOI: 10.1270/jsbbs.65.53

Информация об авторах

Нина Васильевна МIRONENKO, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, шоссе Подбельского, 3, nina2601mir@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3383-2973>

Алексей Владимирович КОЧЕТОВ, доктор биологических наук, профессор РАН, директор института, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 10, Новосибирский государственный аграрный университет, 630039 Россия, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, ak@bionet.nsc.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3151-5181>

Ольга Сильвестровна АФАНАСЕНКО, доктор биологических наук, профессор РАН, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, шоссе Подбельского, 3, olga.s.afan@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7368-0797>

Information about the authors

Nina V. Mironenko, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, nina2601mir@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3383-2973>

Alexey V. Kochetov, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Director, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Akademika Lavrentyeva Ave., Novosibirsk 630090 Russia, Novosibirsk State Agrarian University, 160 Dobrolyubova St., Novosibirsk 630039, Russia, ak@bionet.nsc.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3151-5181>

Olga S. Afanasenko, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Chief Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, olga.s.afan@gmail.com, <http://orcid.org/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 28.07.2022; одобрена после рецензирования 26.09.2022; принята к публикации 02.03.2023. The article was submitted on 28.07.2022; approved after reviewing on 26.09.2022; accepted for publication on 02.03.2023.

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья

УДК 633.111.1:57.085.23:631.524.85

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-144-153



Фенотипическая стабильность регенерантных линий яровой мягкой пшеницы

В. Ю. Ступко, А. В. Сидоров

Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Валентина Юрьевна Ступко, stupko@list.ru

Актуальность. В создании сортов с высоким адаптивным потенциалом соматоклональная изменчивость может стать основой для появления линий с отличающимся от донорных генотипов уровнем фенотипической стабильности. Цель исследования – определение применимости культур дедифференцированных клеток для получения форм с различным уровнем адаптивности.

Материалы и методы. Объектами исследования служили 10 регенерантных линий пшеницы, полученных на базе каллусной культуры, и генотипы, чьи незрелые зародыши послужили основой для ее формирования (доноры). Опыты проводили на делянках 1 м².

Результаты. Анализ данных по массе 1000 зерен и урожайности показал большую стабильность регенерантных линий от сорта 'Новосибирская 15', как агрономическую ($s^2_d P_{\text{масса1000}} P_{\text{урожайность}}$), так и биологическую (σ^2_{CACI}), по сравнению с донорным сортом. По данным GGE-biplot-анализа они отнесены к одной экологической нише и характеризуются близким к единице коэффициентом b_i . Находящиеся в противоположных нишах сорт 'Таёжная' и высокопродуктивная регенерантная линия РС(Таёжная)3.6 занимали первые места в рейтинге по s^2_d и σ^2_{CACI} и отнесены к генотипам, хорошо переносящим неблагоприятные условия возделывания ($b_i < 0,7$). Регенерантные линии от высокоурожайной линии К-142-4 продемонстрировали большую вариабельность значений параметров стабильности, но в среднем были более требовательны к условиям культивирования, чем генотип сравнения – сорт 'Минуса'. Регенерантная линия от этого сорта имела меньшую стабильность массы зерна.

Заключение. Культура дедифференцированных клеток служит источником образцов, значительно отличающихся по фенотипической стабильности как от своих донорных, так и от полученных в этой же клеточной культуре генотипов.

Ключевые слова: взаимодействие «генотип × среда», соматоклональная изменчивость, GGE, повышение адаптивности, селекция *in vitro*

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания согласно тематическому плану по проекту № 121052500127-8 (FWES-2021-0037) «Комплексный подход к отбору новых генотипов растений с высокими хозяйственно ценными признаками продуктивности и устойчивости к био- и абиострессорам с использованием физиологических, биотехнологических, генетических и иммунологических способов в сочетании с традиционными селекционными подходами».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Ступко В.Ю., Сидоров А.В. Фенотипическая стабильность регенерантных линий яровой мягкой пшеницы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):144-153. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-144-153

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-144-153

Phenotypic stability of spring bread wheat regenerant lines

Valentina Yu. Stupko, Aleksandr V. Sidorov

*Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Krasnoyarsk, Russia***Corresponding author:** Valentina Yu. Stupko, stupko@list.ru

Background. Selection of somaclonal variation under callus culture (CC) conditions is one of the methods of undirected genome change induction which has become actively used in the development of cultivars with high adaptive potential. The aim of the present study was the estimation of the applicability of dedifferentiated cell culture to obtain cultivars with different levels of phenotypic stability.

Materials and methods. Ten wheat regenerant lines (RLs), obtained under selective (NaCl, low pH, drought) and nonselective conditions on the basis of CC were assessed along with their donor genotypes or the ones considered equivalent to them (in the case where the breeding variety was a donor) under field conditions on plots of 1 m². 1000 grain weight data were used for the evaluation of the agronomic (b_p , s^2_{dt}) and biological (σ^2_{CAG}) stability. The yield-based superiority measure (P_i) was also calculated.

Results. RLs from cv. 'Novosibirskaya 15' were more stable than their donor genotype from the biological viewpoint as well as from the agronomic one. The GGE-biplot analysis shows that they belong to the same "environment" (sector) with the vertex genotype 'Novosibirskaya 15' with b_i being close to 1. Cv. 'Tayozhnaya' and its high-yielding salt tolerant RL RS(Tayozhnaya)3.6 were located in the opposite sectors and appeared to be highly stable genotypes. They are considered to be better adapted to low-yielding locations ($b_i < 0,7$) along with the RZ(K-79-2)7.16 RL, selected for drought tolerance. The RLs from the high-yielding K-142-4 line showed a wide range of values of the stability parameters. They were better adapted to high-yielding locations than their reference genotype, cv. 'Minusa'. Thus, its RL had a low stability of 1000 grain weight.

Conclusion. Consequently, cell selection is a valuable source of breeding material that differs significantly in phenotypic stability both from the donor genotype and from other RLs, developed under CC of the same donor plant.

Keywords: genotype × environment interaction, somaclonal variability, GGE, adaptability increase, *in vitro* selection

Acknowledgments: the work was done within the framework of the state task according to the thematic plan under Project No. 121052500127-8 (FWES-2021-0037) "An integrated approach to the selection of new plant genotypes with high economically valuable productivity traits and resistance to biotic and abiotic stressors using physiological, biotechnological, genetic and immunological methods in combination with traditional breeding approaches".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Stupko V.Yu., Sidorov A.V. Phenotypic stability of spring bread wheat regenerant lines. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):144-153. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-144-153

Введение

Характер генотип-средового взаимодействия (ГСВ) вносит значительный вклад в план селекционной работы. Целью в конечном итоге является не только создание и отбор генотипов, но поиск экологической ниши для созданного образца (Kilchevsky, 2005), где он в идеале сможет обеспечить высокую стабильную урожайность (Eberhart, Russel, 1966). Так же верно и утверждение о целесообразности создания, например, для Сибирского региона с его разнообразием почвенно-климатических зон узкоспециализированных сортов под имеющуюся «нишу» (Popolzukhina et al., 2020).

Создание новых адаптивных сортов возможно как с использованием гибридизации с привлечением диких сородичей (Krupin et al., 2019; Terletskaia et al., 2021) или коллекций (Khakimova et al., 2020), так и путем изменения генома, индуцированного мутагенами (Bome et al., 2017) или условиями каллусной культуры, где частота соматических вариаций, по некоторым данным, в три раза выше частоты спонтанных мутаций (Yegorova, Stavtzeva, 2013).

Регенерантные линии, полученные в условиях каллусной культуры, характеризуются большой вариативностью признаков (Stupko et al., 2014; Nikitina et al., 2015).

(Pour-Aboughadareh et al., 2022), применимость которых для характеристики ГСВ зависит от этапа и направления селекции, а взаимозаменяемость служит основанием для научных дебатов (Yan et al., 2007; Gauch et al., 2008; Gubatorov, Delibaltov, 2021). При этом выделяют два вида стабильности: биологическую, когда реакция на изменение среды у генотипа минимальна, и агрономическую – формирование от года к году стабильного урожая.

Проведена оценка стабильности регенерантных линий яровой мягкой пшеницы и их донорных генотипов с целью определения применимости дедифференцированных клеток растений как инструмента получения форм с различным уровнем адаптивности.

Материалы и методы

Объектами исследования служили 10 регенерантных линий яровой мягкой пшеницы, полученных методом отбора соматических вариантов в условиях каллусной культуры на селективных (NaCl, низкая pH среды, имитация засухи – полиэтиленгликоль 6000) и оптимальных средах (табл. 1). Методика и этапы культивирования каллусной культуры в ходе получения растений-регенерантов подробно описаны в работе Н. В. Зобовой с соавторами (Zobova et al., 2011).

Таблица 1. Происхождение и направление отбора регенерантных линий мягкой яровой пшеницы, полученных в культуре изолированных тканей

Table 1. Origin and selection direction of spring bread wheat regenerant lines obtained under isolated tissue culture

Наименование регенерантной линии / Name of the regenerant line	Направление отбора / Selection direction	Аббревиатура / Abbreviation
РК(Минуса)3.14 / RK(Minusa)3.14	pH 4,0	RK(M)3.14
РК(К-142-4)7.3 / RK(K-142-4)7.3		RK(K142)7.3
РК(Новосибирская 15)16.10 / RK(Novosibirskaya 15)16.10	pH 3,0	RK(N)16.10
РС(Новосибирская 15)12.2 / RS(Novosibirskaya 15)12.2	NaCl 0,42%	RS(N)12.2
РС(Таёжная)3.6 / RS(Tayozhnaya)3.6	NaCl 0,84%	RS(T)3.6
РС(К-142-4)1.10 / RS(K-142-4)1.10		RS(K142)1.10
РН(К-142-4)2.1 / RN(K-142-4)2.1	Оптимальная среда / Optimum medium	RN(K142)2.1
РН(Р-6-2)4.1 / RN(R-6-2)4.1		RN(R6)4.1
РЗ(К-142-4)2.28 / RZ(K-142-4)2.28	Полиэтиленгликоль (6000) 6,3% вес/объем / Polyethylene glycol (6000) 6.3% w/v	RZ(K142)2.28
РЗ(К-79-2)7.16 / RZ(K-79-2)7.16		RZ(K79)7.16

Поскольку в качестве донорных генотипов чаще всего используются сорта или перспективные линии, то наблюдается асимметричность размаха наследуемых вариаций по параметрам продуктивности в сторону ухудшения (Rozhanskaya, Gorshkova, 2019). Таким образом, получение высокопродуктивных генотипов в условиях каллусной культуры представляется маловероятным. Однако возможно получение форм с близкой к донорному генотипу продуктивностью, но с большей стабильностью.

Начиная с середины прошлого века разработано множество параметрических и непараметрических подходов к оценке стабильности сельскохозяйственных культур

В исследовании задействованы также сорта донорных растений: 'Минуса', 'Новосибирская 15', 'Таёжная'. В условиях конкурсного сортоиспытания (КСИ) донорные линии К-142-4, Р-6-2, К-79-2 оценивали совместно с донорными сортами 'Минуса', 'Новосибирская 15' и региональными стандартами 'Омская 32' и 'Тулунская 12'. Определяли продуктивную кустистость, сохранность растений к уборке, высоту стеблестоя, озерненность главного колоса, длину главного колоса.

Стабильность фенотипа оценивали на основе данных по признаку «масса 1000 зерен» с использованием пакета Agrostab (Cheshkova et al., 2020a). В качестве непарамет-

рического критерия оценки использовали показатель преимущества сорта P_i (Lin, Binns, 1988). Для графического анализа генотип-средовых взаимодействий (GGE-biplot) и дисперсионного анализа (ANOVA) применяли пакет metan (Olivoto, Lúcio, 2020).

Эксперименты проводили на опытных полях, расположенных в центральной части Красноярской лесостепи (ОПХ «Минино»), согласно методике ГСИ (Methods of state..., 1985). Сроки посева – 20–25 мая. Метеоусловия периода вегетации приведены в таблице 2.

верное взаимодействие факторов «условия» и «генотип» для этого показателя (табл. 3). Тест Левина подтверждает гомогенность дисперсий ($F = 1,83$, $p = 0,05$). Наибольшую силу эффекта имел параметр «условия». Вклад в изменчивость генотипа и взаимодействия «генотип × среда» соизмеримы.

Донорные селекционные линии К-79-2, К-142-4 и Р-6-2 не высевались совместно с регенерантными линиями в опытах 2012–2014 гг. Их норма реакции на условия соотнесена с таковой сортов 'Минуса' и 'Новосибирская 15'

Таблица 2. Метеоусловия периода вегетации в 2012–2014 гг. (ОПХ «Минино»)

Table 2. Meteorological conditions of the growing season in 2012–2014 (Minino Experimental Production Farm)

Месяц / Month	Среднесуточная температура, °C / Mean daily temperature, °C					
	Среднемесячная / Mean monthly			% к среднемноголетней / % of the mean for many years		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
Май / May	10,3	8,1	7,3	103	81	73
Июнь / June	20,2	16,0	16,5	135	107	110
Июль / July	20,1	18,2	19,7	106	96	104
Август / August	14,8	16,6	16,5	93	104	103
Сентябрь / September	11,2		8,0	140		100
Месяц / Month	Количество осадков, мм / Precipitation amount, mm					
	за месяц / total per month			% к среднемноголетнему / % of the mean for many years		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
Май / May	19,6	55,9	56,0	68	193	193
Июнь / June	17,7	57,8	73,0	41	134	170
Июль / July	61,4	112,3	103,0	93	170	156
Август / August	58,2	133,1	100,0	95	218	164
Сентябрь / September	27,7	31,1	18,0	81	91	53
ГТК / hydrothermal index	0,83	2,26	2,11			

В связи с малым объемом посевного материала, эксперименты в 2012–2014 гг. закладывались на делянках площадью 1 м^2 ($n = 3$). Норма посева – 500 всхожих семян/ м^2 . Образцы донорных генотипов на полях КСИ (2006–2008 гг.) высевали на делянки площадью 30 м^2 ($n = 4$). Предшественник – чистый пар.

Статистический анализ данных проводили с использованием статистического пакета R 4.0.4 в среде разработки RStudio 1.4.1103 (2009–2021 RStudio, PBC).

Нормальность распределения определяли тестом Шапиро – Уилка, гомогенность распределения параметра по критерию Левина.

Результаты

Малая площадь делянок и сильный краевой эффект, вероятно, стали причиной того, что большинство параметров структуры урожая имели характер распределения значений отличный от нормального, за исключением массы 1000 зерен ($W = 0,98$, $p = 0,15$). Показано досто-

в условиях КСИ за предшествующие введению в каллусную культуру годы (табл. 4).

Для сравнительной оценки сортов и линий в условиях КСИ выбран параметр P_i , который был предложен авторами метода (Lin, Binns, 1988) как критерий оценки стабильности, позволяющий сравнивать генотипы, исследованные в разных наборах сред, при наличии лишь частичного пересечения по составу задействованных в этих испытаниях генотипов. Поскольку результаты 2006–2008 гг. получены на делянках большей площади, то не кажется оправданным включать напрямую эти данные в анализ стабильности регенерантных линий, исследуемых на делянках малой площади в 2012–2014 гг. Однако возможно соотнести ранги генотипов. Как видно из таблиц 4 и 5, сорта 'Минуса' и 'Новосибирская 15' сохранили отличия и порядок рангов в обоих наборах сред. Соответственно и соотношение рангов линий К-79-2, К-142-4 и Р-6-2 с этими сортами, полученное по данным КСИ, должно было бы сохраниться и в условиях 2012–2014 гг. Показано, что линии К-142-4 и Р-6-2

Таблица 3. Результаты дисперсионного анализа данных по массе 1000 зерен регенерантных линий и их донорных генотипов яровой мягкой пшеницы**Table 3. ANOVA results for 1000 grain weight of spring bread wheat regenerant lines and their donor genotypes**

Источник изменчивости / Source of variation	Df	SS	MS	F	Доля фактора, % / Factor's effect size, %
Условия / Environment	2	676,77	338,39	194,57***	53,12
Генотип / Genotype	12	236,99	19,75	11,36***	18,60
Условия × Генотип / Environment × Genotype	24	205,78	8,57	4,93***	16,15
Ошибка / Error	78	154,45	1,98		

Примечание: *** – значение достоверно при $p < 0,01$ Note: *** – the value is statistically significant at $p < 0.01$ **Таблица 4. Характеристика урожайности донорных генотипов в питомнике конкурсного сортоиспытания (2006–2008 гг.)****Table 4. Yield characteristics of donor genotypes under competitive variety trial conditions (2006–2008)**

Генотип / Genotype	Урожайность, т/га / Yield, t/ha				P_i	R
	2006	2007	2008	Среднее / Mean		
Омская 32 (St.) / Omskaya 32	2,85	3,44	2,67	2,97	0,25	4
К-142-4	3,76	3,41	3,32	3,50	0,02	2
Р-6-2 / R-6-2	3,47	3,74	3,29	3,50	0,02	1
Минуса / Minusa	3,41	3,58	3,39	3,46	0,03	3
Тулунская 12 (St.) / Tulunskaya	2,78	2,56	2,06	2,47	0,69	7
Новосибирская 15 / Novosibirskaya	2,63	2,76	2,30	2,56	0,57	6
К-79-2	3,22	2,72	2,37	2,77	0,40	5
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,50	0,34	0,36	0,19		

Примечание: St. – сорт стандарт

Note: St. – standard reference cultivar. Regenerant lines from K-142-4 and R-6-2 are further compared with cv. 'Minusa' and one from K-79-2 is compared with cv. 'Novosibirskaya 15'

в 2006–2008 гг. имели P_i близкие к уровню сорта 'Минуса'. В свою очередь, линия К-79-2 была ближе к сорту 'Новосибирская 15' по этому параметру. На основании этого далее регенерантные линии от линий К-142-4 и Р-6-2 соотносятся в порядке ранжирования с сортом 'Минуса', а от К-79-2 – с сортом 'Новосибирская 15'.

Характер ГСВ анализировали с применением GGE-biplot-анализа. Показано, что первые две компоненты объясняют 89,77% от общей изменчивости, вызванной ГСВ (рисунок). В работе W. Yan и M. S. Kang (2003) подробно описан порядок интерпретации GGE-biplot «кто-где-победил». Генотипы, наиболее удаленные от центра (пересечения двух перпендикуляров), образуют полигон. В вершинах многоугольника находятся 'Новосибирская 15', РС(К-142-4)1.10, РН(К-142-4)2.1, РН(Р-6-2)4.1, РС(Таёжная)3.6, РК(Минуса)3.14.

Расположенные на соседних вершинах генотипы можно сравнить по величине исследуемого параметра. Так, РС(Таёжная)3.6 превосходила по массе 1000 зерен

сорт 'Новосибирская 15', и находящуюся на той же линии РК(Минуса)3.14. Линия с неселективной среды РН(Р-6-2)4.1 превосходила по этому параметру РН(К-142-4)2.1, также полученную в отсутствии индуцированного стресса.

Поле GGE-biplot «кто-где-победил» разделено пунктирными линиями на сектора, которые представляют собой гипотетические среды. В каждом секторе вершину угла формирует генотип, показавший наилучший результат по исследуемому параметру в данной «среде» (секторе). Генотипы, находящиеся внутри сектора, уступают ему по адаптивности. РС(Таёжная)3.6, РК(Минуса)3.14 превосходили остальные генотипы в условиях 2014 г. РН(Р-6-2)4.1 имела максимальные показатели в условиях 2012 и 2013 г. 'Новосибирская 15', РС(К-142-4)1.10, РН(К-142-4)2.1, являющиеся вершинами секторов, в которых не попала ни одна из «сред», соответственно характеризуются как менее успешные во всех исследованных условиях.

Таблица 5. Ранжирование регенерантных линий и донорных генотипов по параметрам стабильности
Table 5. Results of ranking regenerant lines and their donor genotypes according to stability indicators

Генотип / Genotype	Масса 1000 зерен, г (среднее ± ст. откл.) / 1000 grain weight, g (mean ± SE)	R	σ^2_{CaCl}	R	b_i	R	s^2_{di}	R	$P_{L_{mass}1000} / P_{L_{1000grain}}$	R	$P_{L_{урожайность}} / P_{L_{yield}}$	R
P3(K-79-2)7.16 / RZ(K-79-2)7.16	28,50 ± 0,71 ^{cd}	8	3,93	3	0,68*	6	0,77	5	8,81	7	1,67	3
P3(K-142-4)2.28 / RZ(K-142-4)2.28	27,83 ± 1,47 ^d	11	25,05	13	1,71**	10	0,03	3	15,34	11	0,84	2
PC(K-142-4)1.10 / RS(K-142-4)1.10	27,3 ^d	13	14,75	10	1,27	5	2,47*	7	15,64	13	3,09	10
PK(K-142-4)7.3 / RK(K-142-4)7.3	29,42 ± 1,33 ^{bcd}	5	17,37	11	1,43**	9	0,16	4	7,26	5	1,88	7
PH(K-142-4)2.1 / RN(K-142-4)2.1	27,5 ^d	12	19,48	12	1,38**	8	6,85***	11	15,48	12	0,04	1
Минуса / Minusa	30,3 ^{ac}	4	7,25	4	0,88	2	1,94*	6	4,25	3	1,87	6
PK(Минуса)3.14 / RK(Минуса)3.14	30,3 ^{ac}	3	7,67	6	0,89	1	2,57*	8	4,43	4	2,49	8
Новосибирская 15 / Novosibirskaya 15	28,0 ^d	9	10,06	8	0,87	3	7,82***	12	14,14	10	3,69	13
PK(Новосибирская 15)16.10 / RK(Новосибирская 15)16.10	29,1 ^{cd}	6	7,50	5	0,85	4	3,42**	9	8,14	6	3,34	12
PC(Новосибирская 15)12.2 / RS(Новосибирская 15)12.2	28,8 ^{cd}	7	7,83	7	0,87	3	3,53**	10	9,24	8	2,69	9
Таёжная / Tayozhnaya	27,9 ^d	10	2,92	1	0,62***	8	0,00	2	11,6	9	3,17	11
PC(Таёжная)3.6 / RS(Таёжная)3.6	31,7 ^a	1	3,44	2	0,67***	7	0,00	1	0,78	1	1,76	4,5
PH(P-6-2)4.1 / RN(R-6-2)4.1	31,5 ^{ab}	2	14,11	9	0,89	1	15,38***	13	1,97	2	1,76	4,5

Примечание: разными буквами отмечены значения статистически различающиеся при $p < 0,05$; $b_i \neq 1$, $s^2_{di} \neq 0$ при * - $p < 0,1$, ** - $p < 0,05$, *** - $p < 0,01$
Note: different letters indicate significant differences at $p < 0,05$; $b_i \neq 1$, $s^2_{di} \neq 0$ at * - $p < 0,1$, ** - $p < 0,05$, *** - $p < 0,01$

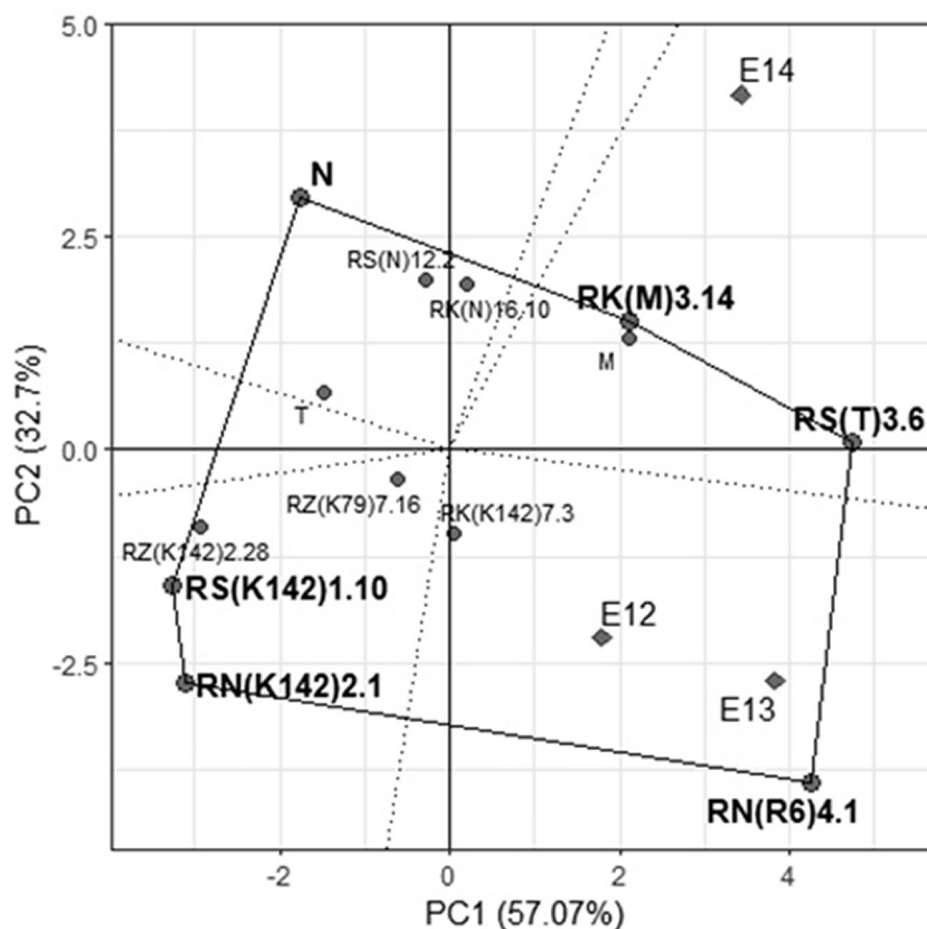


Рисунок. Полигональный тип GGE-biplot «кто-где-победил», характеризующий превосходство генотипов по массе 1000 зерен в 2012–2014 гг. (E12, E13, E14).

(‘Минуса’ – М, ‘Новосибирская 15’ – N, ‘Таёжная’ – Т; подробно см. таблицу 1)

Figure. Polygon view of a GGE biplot for the “which-won-where” pattern showing the genotype superiority in 1000 grain weight in 2012–2014 (E12, E13 and E14).

(‘Minusa’ – М, ‘Novosibirskaya 15’ – N, ‘Tayozhnaya’ – Т; for details see Table 1)

Анализ стабильности проводили в трех направлениях согласно классификации, представленной в работе С. С. Лин с соавторами (1986), с использованием некоторых индексов (см. табл. 5), определенных для этих типов стабильности в работе А. Ф. Чешковой с соавторами (Cheshkova et al., 2020b):

Тип 1. Генотип считается тем более стабильным, чем меньше его межсредовая дисперсия. Сюда относится биологическая стабильность, характеризуемая предложенной А. В. Кильчевским и Л. В. Хотылевой (Kilchevsky, 2005) дисперсией специфической адаптивной способности – σ^2_{CAC} .

Тип 2. Генотип считается стабильным, если его реакция на изменение условий согласуется со средним ответом всех исследуемых генотипов. Для оценки рассчитывали коэффициент линейной регрессии – b_i (Eberhart, Russel, 1966).

Тип 3. Генотип считается стабильным, если остаточная ошибка от регрессии на средовой индекс минимальная, что можно оценить по методике (Eberhart, Russel, 1966), рассчитав среднеквадратичное отклонение s^2_{di} .

В соответствии с индексами среды 2013 и 2014 гг. определены как неблагоприятные ($I_{j,2013} = -2.11$, $I_{j,2014} = -1.26$). Благоприятным в отношении массы 1000 зерен был 2012 год ($I_j = 3.65$).

Обсуждение результатов

Наследование признаков, приобретенных регенерантами в результате прохождения клеток через условия *in vitro*, может отличаться нестабильностью проявления (Pérez-Clemente, Gómez-Cadenas, 2012). Их полевые испытания с использованием генераций 3-4 года, как в представленном исследовании, способствуют более полной характеристике получаемых форм.

В условиях *in vitro* нет возможности канализировать изменчивость в сторону высокой продуктивности, и отобранные при этом соматоклоны могут изменять параметр урожайности в нежелательном направлении (Kilchevsky, 2005). Задействованные в исследованиях регенерантные линии в среднем за три года имели близкую к своим донорным генотипам массу 1000 зерен. Гораздо более редким является результат, продемонстрированный линией РС(Таёжная)3.6, превзошедшей свой донорный генотип по этому параметру. При использовании в качестве донорных сортов и высокопродуктивных линий (‘Новосибирская 15’, ‘Таёжная’, ‘Минуса’) ожидаемо получена «асимметрия» в сторону снижения продуктивности (Rozhanskaya, Gorshkova, 2019).

Регенерантные линии, сформировавшиеся в условиях индуцированного солевого стресса, как показано нами

ранее (Stupko et al., 2014), при недостаточной водообеспеченности превосходят свои донорные генотипы по ряду параметров структуры урожая, уступая им в годы с избыточным увлажнением. Условия вегетационного периода в 2012–2014 гг. не позволили оценить засухоустойчивость линий по параметру «масса 1000 зерен». Так, весенне-летняя (май-июнь) засуха 2012 года не привела к снижению этого параметра, что видно из индекса среды. В подобных условиях зачастую формируется укороженный колос. На этом фоне благоприятные условия июля-августа, в свою очередь, способствовали формированию крупного зерна. В 2013 и 2014 г. избыточное увлажнение на протяжении всего вегетационного периода отрицательно сказалось на наливе и созревании зерна. Однако выявлены различия при сравнении стабильности линий и донорных генотипов.

В среднем за все годы испытаний максимальную массу 1000 зерен продемонстрировала линия РС(Таёжная)3.6, минимальную – РС(К-142-4)1.10 (см. табл. 5). При этом РС(Таёжная)3.6 и ее донорный сорт 'Таёжная' характеризовались как высокостабильные как с биологической, так и с агрономической точки зрения. А также, наряду с линиями РЗ(К-79-2)7.16, могут быть отнесены к генотипам, хорошо переносящим неблагоприятные условия возделывания ($b_i < 0,7$) (Lin, Binns, 1988). Эти три образца имели довольно высокую медианную урожайность, однако сильно различались по параметру превосходства $P_{i, \text{масса1000}}$. Обе линии расположились выше по рангу, чем сорт 'Таёжная'. Данный донорный сорт разделял сектор в GGE-biplot (гипотетическую среду) с сортом 'Новосибирская 15' и его линиями, находящимися в противоположном секторе по отношению к дочерней регенерантной линии от сорта 'Таёжная'.

В свою очередь линия РК(Минуса)3.14 имела меньшую стабильность, чем донорный сорт 'Минуса'. Сравниваемая с ним линия РН(Р-6-2)4.1 характеризовалась высокими значениями σ^2_{CACI} и s^2_{di} и низкими $P_{i, \text{масса1000}}$ и $P_{i, \text{урожайность}}$. Регенерантные линии от селекционной линии К-142-4, занимавшие одну «среду» в GGE-biplot-полигоне, продемонстрировали большую вариабельность значений параметров стабильности при сравнении их между собой (см. табл. 5). Все они демонстрировали низкую биологическую стабильность (σ^2_{CACI}): ниже, чем у сорта 'Минуса'. Линия РС(К-142-4)1.10 оказалась худшей с точки зрения селекционной ценности ($P_{i, \text{масса1000}}$, $P_{i, \text{урожайность}}$). Остальные регенерантные линии из этой группы характеризовались высокой отзывчивостью на улучшение условий. Наиболее стабильной среди них с агрономической точки зрения являлась РК(К-142-4)7.3.

При сравнении сорта 'Новосибирская 15' и регенерантных линий, полученных на основе его каллусной культуры, можно отметить близкие, статистически не отличающиеся от единицы значения b_i . Несмотря на тот факт, что линии от сорта 'Новосибирская 15' согласно результатам GGE-biplot-анализа попали в ту же экологическую нишу, что и донорный генотип, их стабильность была выше в сравнении с донорным сортом: как агрономическая (s^2_{di} , $P_{i, \text{масса1000}}$, $P_{i, \text{урожайность}}$), так и биологическая (σ^2_{CACI}). При сравнении линии РЗ(К-79-2)7.16 с аналогом донорного генотипа, сортом 'Новосибирская 15', показана большая агрономическая стабильность массы 1000 зерен и выше ранг по параметрам $P_{i, \text{масса1000}}$. Наблюдался сдвиг реакции в сторону экстенсивности у данного регенеранта в сравнении с сортом 'Новосибирская 15'.

Заключение

Таким образом, клеточная селекция в условиях каллусной культуры и индуцированного стресса не позволяет канализировать высокую продуктивность соматического варианта. Однако служит источником селекционных образцов, значительно отличающихся от своих донорных генотипов так же, как и от регенерантных линий, полученных от этого же донора, по фенотипической стабильности. Прослеживается тенденция к повышению адаптивности при таком методе формирования линий. Это, как и показанная ранее эффективность отбора на устойчивость к используемым в каллусной культуре селективным факторам, позволяет применять данную технологию для расширения генетического разнообразия и, вероятно, повышения стабильности в программах селекции.

References / Литература

- Bome N.A., Weisfeld L.I., Babaev E.V., Bome A.Ya., Kolokolova N.N. Influence of phosphomide, a chemical mutagen, on agrobiological signs of soft spring wheat *Triticum aestivum* L. *Agricultural Biology*. 2017;52(3):570-579. [in Russian] [Боме Н.А., Вайсфельд Л.И., Бабаев Е.В., Боме А.Я., Колоколова Н.Н. Агробιοлогические признаки яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при обработке семян химическим мутагеном фосфемидом. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(3):570-579). DOI: 10.15389/agro biology. 2017.3.570rus
- Cheshkova A. Stability analysis for agricultural research (Agrostat). 2019. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/agrostat/agrostat.pdf> [дата обращения: 05.05.2022].
- Cheshkova A.F., Grebennikova I.G., Aleynikov A.F., Chanyshv D.I. Implementation of methods for assessing the stability of crop varieties in the Agrostat package of functions of R software environment. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2020a;34(7):91-96. [in Russian] [Чешкова А.Ф., Гребенникова И.Г., Алейников А.Ф., Чанышев Д.И. Реализация методов оценки стабильности сортов сельскохозяйственных культур в пакете функций Agrostat программной среды R. *Достижения науки и техники АПК*. 2020a;34(7):91-96). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10716
- Cheshkova A.F., Stepochkin P.I., Aleynikov A.F., Grebennikova I.G., Ponomarenko V.I. A comparison of statistical methods for assessing winter wheat grain yield stability. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020b;24(3):267-275. DOI: 10.18699/VJ20.619
- Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40. DOI: 10.2135/crops ci1966.0011183X000600010011x
- Gauch H.G., Piepho H.P., Annicchiarico P. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: further considerations. *Crop Science*. 2008;48(3):866-889. DOI: 10.2135/cropsci2007.09.0513
- Gubatov T., Delibaltova V. Evaluation of wheat varieties by the stability of grain yield in multienviromental trails. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2020;26(2):384-394.
- Khakimova A.G., Fadeeva I.D., Gazizov I.N., Mitrofanova O.P. Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 925. Winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.): Agrobiological description, adaptability and stability of accessions in the north of the Middle Volga Region. O.P. Mitrofanova (ed.). St. Petersburg: VIR; 2020. [in Russian] [Хакимова А.Г., Фадеева И.Д., Газизов И.Н., Митрофанова О.П. Ката-

- лог мировой коллекции ВИР. Выпуск 925. Озимая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.): Агробиологическая характеристика, адаптивная способность и стабильность образцов в условиях севера Среднего Поволжья / под ред. О.П. Митрофановой. Санкт-Петербург: ВИР; 2020). DOI: 10.30901/978-5-907145-53-5
- Kilchevsky A.V. Genetic and ecological bases of plant breeding. *The Herald of Vavilov Society for Geneticists and Breeding Scientists*. 2005;9(4):518-526. [in Russian] [Кильчевский А.В. Генетико-экологические основы селекции растений. *Информационный вестник ВОГуС*. 2005;9(4):518-526].
- Krupin P.Yu., Divashuk M.E., Karlov G.I. Gene resources of perennial wild cereals involved in breeding to improve wheat crop (review). *Agricultural Biology*. 2019;54(3):409-425. [in Russian] [Крупин П.Ю., Дивашук М.Е., Карлов Г.И. Использование генетического потенциала многолетних дикорастущих злаков в селекционном улучшении пшеницы (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2019;54(3):409-425]. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.3.409rus
- Lin C.S., Binns M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. *Canadian Journal of Plant Science*. 1988;68(1):193-198. DOI: 10.4141/cjps88-018
- Lin C.S., Binns M.R., Lefkovich L.P. Stability analysis: where do we stand? *Crop Science*. 1986;26(5):894-900. DOI: 10.2135/cropsci1986.0011183X0026000500012x
- Methods of state variety trials for agricultural crops (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур). Moscow: Kolos; 1985. [in Russian] [Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Москва: Колос; 1985].
- Nikitina E.D., Khlebova L.P., Pronina R.D. *In vitro* somaclonal variation as initial material for bread wheat breeding. *Acta Biologica Sibirica*. 2015;1(3-4):171-186. [in Russian] [Никитина Е.Д., Хлебцова Л.П., Пронина Р.Д. Соматоклональная изменчивость *in vitro* как источник создания исходного материала для селекции мягкой пшеницы. *Acta Biologica Sibirica*. 2015;1(3-4):171-186].
- Olivoto T., Lúcio A.D. metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*. 2020;11(6):783-789. DOI: 10.1111/2041-210X.13384
- Pérez-Clemente R., Gómez-Cadenas A. *In vitro* tissue culture, a tool for the study and breeding of plants subjected to abiotic stress conditions. In: A. Leva, L.M.R. Rinaldi (eds). *Recent Advances in Plant in vitro Culture*. London: InTech; 2012. p.91-108. DOI: 10.5772/50671
- Popolzukhina N.A., Popolzukhin P.V., Gaidar A.A., Parshutkin Yu.Yu., Yakunina N.A. Development of the adaptive spring bread wheat cultivar 'Omskaya Yubileynaya' under the conditions of the Siberian region. *Proceedings on Applied Botany, Genetic, and Breeding*. 2020;181(4):120-126. [in Russian] [Поползухина Н.А., Поползухин П.В., Гайдар А.А., Паршуткин Ю.Ю., Якунина Н.А. 'Омская юбилейная' – адаптивный сорт яровой мягкой пшеницы для Сибирского региона. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(4):120-126]. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-120-126
- Pour-Aboughadareh A., Khalili M., Poczai P., Olivoto T. Stability indices to deciphering the genotype-by-environment interaction (GEI) effect: an applicable review for use in plant breeding programs. *Plants*. 2022;11(3):414. DOI: 10.3390/plants11030414
- Rozhanskaya O.A., Gorshkova E.M. *In vitro* culture as a source of biodiversity for soybean breeding. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2019;49(4):24-31. [in Russian] [Рожанская О.А., Горшкова Е.М. Культура *in vitro* как источник биоразнообразия для селекции сои. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2019;49(4):24-31]. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-4-3
- Stupko V.Yu., Lugovtsova S.Yu., Zobova N.V. Field evaluation of stress tolerant barley and wheat varieties *in vitro* creation effectiveness. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2014;(6):11-14. [in Russian] [Ступко В.Ю., Луговцова С.Ю., Зобова Н.В. Полевая оценка результативности создания *in vitro* стрессоустойчивых форм ячменя и пшеницы. *Достижения науки и техники АПК*. 2014;(6):11-14].
- Terletskaya N.V., Stupko V.Yu., Altayeva N.A., Kudrina N.O., Blavachinskaya I.V., Kurmanbayeva M.S. et al. Photosynthetic activity of *Triticum dicoccum* × *Triticum aestivum* alloplasmic lines during vegetation in connection with productivity traits under varying moisture conditions. *Photosynthetica*. 2021;59(1):74-83. DOI: 10.32615/ps.2021.003
- Yan W., Kang M.S. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. Boca Raton: CRC Press; 2003. DOI: 10.1201/9781420040371
- Yan W., Kang M.S., Ma B., Woods S., Cornelius P.L. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*. 2007;47(2):643-653. DOI: 10.2135/cropsci2006.06.0374
- Yegorova N.A., Stavtzeva I.V. Biotechnological methods of obtaining sage forms resistant to osmotic stress *in vitro*. *Ecosystems, Their Optimization and Protection*. 2013;8(27):93-100. [in Russian] [Егорова Н.А., Ставцева И.В. Биотехнологические приемы получения форм шалфея, устойчивых к осмотическому стрессу *in vitro*. *Экосистемы, их оптимизация и охрана*. 2013;8(27):93-100].
- Zobova N.V., Lugovtsova S.Yu., Stupko V.Yu. Conditions for providing the effective regeneration processes in the culture of the barley, wheat and oat isolated germs. *The Bulletin of KSAU*. 2011;12(63):110-116. [in Russian] [Зобова Н.В., Луговцова С.Ю., Ступко В.Ю. Условия обеспечения эффективных процессов регенерации в культуре изолированных зародышей ячменя, пшеницы и овса. *Вестник КрасГАУ*. 2011;12(63):110-116].

Информация об авторах

Валентина Юрьевна Ступко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, 660041 Россия, Красноярск, пр. Свободный, 66, stupko@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4430-2719>

Александр Васильевич Сидоров, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, 660041 Россия, Красноярск, пр. Свободный, 66, asidorovs@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1274-2098>

Information about the authors

Valentina Yu. Stupko, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture – Division of KSC SB RAS, 66 Svobodny Ave., Krasnoyarsk 660041, Russia, stupko@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4430-2719>

Aleksandr V. Sidorov, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Head of a Laboratory, Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture – Division of KSC SB RAS, 66 Svobodny Ave., Krasnoyarsk 660041, Russia, asidorovs@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1274-2098>

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 25.05.2022; одобрена после рецензирования 20.10.2022; принята к публикации 02.03.2023.
The article was submitted on 25.05.2022; approved after reviewing on 20.10.2022; accepted for publication on 02.03.2023.

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья

УДК 633.511

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-154-162

**‘Браун’ – первый российский сорт хлопчатника с природно-окрашенным волокном**Р. К. Туз¹, М. Ш. Асфандиярова¹, Л. П. Подольная²¹ Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук, Астраханская область, Россия² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Лариса Петровна Подольная, l.podolnaya@vir.nw.ru

Актуальность. Большинство коммерческих сортов хлопчатника имеет волокно белого цвета. Расход большого количества энергии и воды при производстве тканей из такого волокна создает значительные проблемы, поэтому в последние десятилетия в мире появляется все больше сортов хлопчатника с природно-окрашенным волокном. Помимо экономии природных ресурсов, природно-окрашенное волокно имеет преимущество как низко аллергенное. Это волокно стоит значительно дороже на мировом рынке.

Материалы и методы. Объект – линия хлопчатника со светло-коричневым волокном 7С, полученная методом индивидуального отбора из гибридной комбинации Генетик 34 (Туркмения, позднеспелый, коричневое волокно) × С2 8101-73 (к-8112, Албания, скороспелый, белое волокно). Линия была зарегистрирована в Госреестре сортов РФ под названием ‘Браун’ в 2019 г. Авторы сорта: М. Ш. Асфандиярова, Л. П. Подольная, А. Г. Дубовская, Р. К. Туз. Выдан патент на селекционное достижение за номером 10638. Исследования проводились на базе Прикаспийского НИИ аридного земледелия (ныне Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН). Сравнительное изучение линии 7С и беловолокнистого стандарта ‘АС-5’ по морфологическим и хозяйственно ценным признакам за период 2013–2018 гг. проводилось согласно методике ВИР.

Результаты и выводы. Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что сорт ‘Браун’ достоверно отличается от сорта ‘АС-5’ лишь по длине волокна, однако пятый тип, к которому относится волокно сорта ‘Браун’, в большом объеме используется для производства тканей. Урожайность сорта (2,5–3,0 т/га) сравнима со стандартом. Колебания показателей изученных признаков сорта ‘Браун’ по годам меньше, чем у стандарта, что свидетельствует о пластичности сорта и его хорошей адаптации к условиям Северного Прикаспия. Естественный цвет волокна будет придавать изделиям особую привлекательность. Расчет экономической эффективности возделывания сорта показал высокую рентабельность – до 132%.

Ключевые слова: изменчивость, продуктивность, качество волокна, скороспелость, адаптация

Благодарности: исследования проведены в рамках выполнения 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: Туз Р.К., Асфандиярова М.Ш., Подольная Л.П. ‘Браун’ – первый российский сорт хлопчатника с природно-окрашенным волокном. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):154-162. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-154-162

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-154-162

‘Braun’: the first Russian cotton cultivar with naturally colored fiberRuslan K. Tuz¹, Minira Sh. Asfandiiairova¹, Larisa P. Podolnaya²¹ *Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Astrakhan Province, Russia*² *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia***Corresponding author:** Larisa P. Podolnaya, l.podolnaya@vir.nw.ru

Background. Most commercial cotton cultivars have white fiber. Massive energy and water consumption during the production of fabrics from such fiber generates significant problems, so in recent decades more and more cotton cultivars with naturally colored fiber have appeared in the world. In addition to saving natural resources, such fiber has another advantage: it is low-allergenic. Such fiber is much more expensive on the world market.

Materials and methods. The research material was cotton line 7C with light brown fiber, produced by individual selection from the hybrid combination Genetic 34 (Turkmenistan, late-maturity, brown fiber) × C2 8101-73 (k-8112, Albania, early-maturity, white fiber). This line was registered in the State Register for Selection Achievements as the cultivar ‘Braun’ in 2019. The authors of the cultivar were M. Sh. Asfandiiairova, L. P. Podolnaya, A. G. Dubovskaya, and R. K. Tuz. The selection achievement was patented (patent No. 10638). The research was conducted at the Caspian Research Institute of Arid Agriculture (now the Caspian Agrarian Federal Research Center of the RAS). 7C was compared to the white-fiber reference ‘AS-5’ for morphological and agronomic traits in 2013–2018 according to VIR’s guidelines.

Results and conclusion. ANOVA analysis showed that cv. ‘Braun’ differed significantly from cv. ‘AS-5’ only in fiber length. However, the 5th type to which the fiber cv. ‘Braun’ belongs is used for the production of fabrics on a large scale. The cultivar’s yield of 2.5–3.0 t/ha is comparable to the reference. Variability of the values of the studied traits in cv. ‘Braun’ over the years was less than in the reference cultivar, attesting to its good adaptation to the Northern Caspian environments. The fiber’s natural color would make the products from such fiber notably more attractive. The estimated cost efficiency of its cultivation showed high profitability – up to 132%.

Keywords: variability, productivity, fiber quality, early maturity, adaptation

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan under 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: Tuz R.K., Asfandiiairova M.Sh., Podolnaya L.P. ‘Braun’: the first Russian cotton cultivar with naturally colored fiber. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):154-162. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-154-162

Введение

Хлопчатник – ценная прядильная культура, широко возделываемая в тропической и субтропической зонах. Подавляющую часть производимого волокна составляет волокно белого цвета. Но применение значительного количества химикатов и большой расход воды и энергии при обработке такого волокна оказывают негативное влияние на окружающую среду и здоровье человека (Dickerson et al., 1996; Pearce et al., 2003; Aslam et al., 2004; Hessel et al., 2007; Ranganathan et al., 2007), поэтому в мире создается все больше сортов хлопчатника с природно-окрашенным волокном.

Волокно дикорастущих форм вида *Gossypium hirsutum* L. имеет коричневый цвет, беловолокнистые формы созданы селекционерами. Селекционные линии с окрашенным волокном появились в середине прошлого века, но их серьезно не рассматривали (Ware, 1932; Yatsu et al., 1983). Выявлены варианты с различными оттенком коричневого – от кремового до темно-кирпичного, зеленого и сиренево-розового. Промышленные сорта обычно характеризуются волокном разных оттенков зеленого и коричневого.

Природно-окрашенное волокно обладает преимуществами. Оно не требует ни отбеливания, ни окрашивания, и это резко снижает нагрузку на окружающую среду (Yatsu et al., 1983; Dutt et al., 2004). Изделия из натурально окрашенного волокна гипоаллергенны. В силу устойчивости волокна к пекто- и целлюлозолитическим микроорганизмам в изделиях может снижаться уровень продуктов его биодеструкции (афлатоксины) (Illarionova, Grigoryev, 2020).

Невозможность создания генетически модифицированных форм с природно-окрашенным волокном из-за сложного генетического контроля окраски волокна и недостаточной его изученности отмечалась в литературе (Tian et al., 2011), и до сих пор достоверных сведений о появлении таких сортов нет. Все сорта с природно-окрашенным волокном получены традиционными методами селекции, и этот факт свидетельствует о безопасности их для окружающей среды и человека.

Проблема сортов с естественно окрашенным волокном состоит в том, что это волокно имеет несколько худшие физико-механические характеристики (длина, прочность) по сравнению с белым волокном промышленных сортов. Кроме того, у этих сортов обычно ниже выход волокна и урожайность в целом (Chaudhry, 2003; Dutt et al., 2004). Также выявлена отрицательная корреляция между длиной волокна и интенсивностью окраски у образцов с коричневым волокном (Podolnaya, 2001; Gurel et al., 2001).

Тем не менее в разных странах созданы сорта и линии хлопчатника с природно-окрашенным волокном, почти не уступающие по хозяйственно ценным признакам традиционным беловолокнистым сортам (Mustafayev et al., 1999; Hua et al., 2009; Efe et al., 2010). Наилучшие показатели наблюдаются у линий со светло-коричневым волокном – длина волокна 30–33 мм и урожайность хлопко-сырца около 3 т/га (Gurel et al., 2001).

Первое место в мире по производству природно-окрашенного хлопкового волокна занимает Китай (Sun et al., 2009; Zhang et al., 2019). Площадь посевов таких сортов в провинции Xinjiang достигает 200 000 га, что составляет почти 60% мирового производства – около 30 000 тонн ежегодно. В России природно-окрашенное волокно хлопчатника для производства тканей не ис-

пользуют вообще. И изделия из него недоступны для массового потребителя.

Возможность развития промышленного хлопководства в России доказана 30-летними исследованиями, создан целый ряд скороспелых сортов с волокном хорошего качества (Podolnaya et al., 2015), но все они имеют белую окраску. Значительное изменение климата на планете в целом и в главных хлопкосеющих зонах в том числе (Williams et al., 2017) будет давать преимущество России за счет расширения земель, пригодных для возделывания хлопчатника, на фоне сокращения производства на традиционных территориях, сокращения урожаев и ухудшения качества волокна.

Поскольку все иностранные сорта с окрашенным волокном достаточно позднеспелы, нашей целью было создание скороспелых сортов с природно-окрашенным волокном, адаптированных к почвенно-климатическим условиям юга России и имеющих волокно, пригодное для прядения.

Материалы и методы

В течение 10 лет изучение скороспелых линий с естественно окрашенным волокном средневолокнистого хлопчатника (*G. hirsutum*) из признаковой коллекции ВИР проводилось в с. Соленое Займище Черныярского района Астраханской области на базе Прикаспийского НИИ аридного земледелия (ныне Прикаспийский аграрный федеральный научный центр, ПАФНЦ). Черныярский район характеризуется светло-каштановыми почвами и резко континентальным засушливым климатом. Это крайняя северная точка выращивания хлопчатника (48° с. ш.). Лимитирующим фактором здесь является недостаток положительных температур (Zvolinski, 1991). Тем не менее, несмотря на колебания погодных условий, сумма положительных и эффективных температур за годы исследований превышала среднееголетнюю (табл. 1). В результате изучения выделилась линия 7С со светло-коричневым волокном, полученная методом индивидуального отбора из гибридной комбинации Генетик 34 (Туркмения, позднеспелый, коричневое волокно) × С2 8101-73 (к-8112, Албания, скороспелый, белое волокно). В 2019 г. линия была внесена в реестр сортов сельскохозяйственных культур РФ как сорт 'Браун' (Asfandiariyeva et al., 2019). В статье мы приводим сравнительные данные по основным признакам стандарта местной селекции с белым волокном 'АС-5' и линии 7С за 2013–2018 гг. Данные приводятся за период с момента принятия решения о передаче линии в Госсортоиспытание РФ и до регистрации сорта.

Образцы высевались в трех повторениях на 5-метровых однорядковых делянках с расстоянием 70 см между рядами. Посев производился вручную через 10–15 см (из расчета 100 000 растений на 1 га) при капельном орошении. В 2016–2018 гг. линия проходила сортоиспытание.

Учитывались продолжительность вегетационного периода, высота растения, количество моноподиев, симподиев и коробочек на растение (по 10 растениям с делянки), номер узла первой симподиальной ветви и хозяйственно ценные признаки, такие как масса хлопко-сырца одной коробочки, продуктивность одного растения, урожайность с единицы площади, длина и выход волокна. Длина волокна определялась по 10 луткам от 10 разных коробочек, остальные хозяйственно ценные признаки фиксировались для делянки в целом. Изучение проводилось по методике ВИР (Davidyan et al., 1978). Был

Таблица 1. Погодные условия вегетационного периода
(Прикаспийский аграрный федеральный научный центр, с. Соленое Займище, 2013–2018 гг.)

Table 1. Weather conditions of the growing period
(Caspian Agrarian Federal Research Center, Solenoe Zaimishche, 2013–2018)

Годы	Показатели погоды за период вегетации									
	май		июнь		июль		август		сентябрь	
	t °C	rfl	t °C	rfl	t °C	rfl	t °C	rfl	t °C	rfl
2013	21,3	3,1	24	17,2	24,5	12,5	23,5	12,45	15,7	43,9
2014	21,9	1,6	23,3	18,5	26	0	27,1	12,6	16,7	37
2015	18,4	15,8	26,4	29,8	25,9	21,4	23,9	10,8	20,5	28,2
2016	18	60,8	23,6	4,2	26	44,4	27,2	11,8	15,9	26,6
2017	16,6	30,1	21,1	31,8	26,4	2,4	26,6	29,2	19	13
2018	20,4	0	23,5	1,3	26,9	51	23,9	1,7	19,3	39,1

Примечания: t°C – среднемесячная температура, rfl – сумма осадков за месяц

Note: t°C – mean monthly temperature, rfl – monthly rainfall

проведен двухфакторный дисперсионный анализ. Использовались программы Excel 2016 и Statistica 7.

Результаты и обсуждение

Растения сорта 'Браун' имеют типичное строение для вида *G. hirsutum* и от большинства коммерческих сортов морфологически отличаются только окраской волокна. На рисунке представлены фотографии коробочек описываемых сортов. Хорошо заметна разница в окраске волокна. Волокно сорта 'Браун' нежного абрикосового оттенка светло-коричневого цвета.

В таблицах 2 и 3 приведены сравнительные данные для двух сортов по изученным признакам за 6 лет.

Сравнение данных, приведенных в таблицах 2 и 3, показывает, что по большинству признаков показатели сближались, а по некоторым из них линия с окрашенным волокном по мере стабилизации начинает превосходить стандарт ('АС-5'), в том числе по продуктивности и скорости. Симподиальные (плодовые) ветви закладываются ниже, что говорит о более раннем переходе в генеративную фазу. Количество коробочек возросло, более того, увеличилась и масса коробочки, что и привело к увеличению продуктивности.



а



б

Рисунок. Коробочки хлопчатника: а – сорт 'АС-5' с белым и б – сорт 'Браун' с природно-окрашенным волокном
(Прикаспийский аграрный федеральный научный центр, с. Соленое Займище, 2018 г.; фото Л. П. Подольной)

Figure. Cotton bolls: а – cv. 'AS-5' with white fiber, and б – cv. 'Braun' with naturally colored fiber
(Caspian Agrarian Federal Research Center, Solenoe Zaimishche, 2018; photo by L. P. Podolnaya).

Таблица 2. Характеристика сортов хлопчатника по структуре растения
(Прикаспийский аграрный федеральный научный центр, с. Соленое Займище, 2013–2018 гг.)

Table 2. Data on plant structure traits of cotton cultivars
(Caspian Agrarian Federal Research Center, Solenoe Zaimishche, 2013–2018)

Год	Высота растения, см		Число моноподиев на 1 растение		Число симподиев на 1 растение		Число коробочек на 1 растение		№ узла 1-го симподия	
	Браун	АС-5	Браун	АС-5	Браун	АС-5	Браун	АС-5	Браун	АС-5
2013	72,1	90,9	0,6	0,0	8,0	8,8	4,0	6,5	5,8	5,6
2014	78,8	65,7	0,4	1,5	7,6	8,0	7,3	10,9	6,2	5,9
2015	84,2	97,3	0,4	0,2	7,6	10,0	4,5	10,0	7,2	7,9
2016	109,9	126,8	2,4	2,4	10,0	12,0	12,0	6,6	8,8	6,6
2017	68,2	70,4	0,8	0,2	8,2	7,0	5,8	3,9	5,6	7,6
2018	114,2	82,4	0,8	0,6	10,4	8,0	8,8	5,0	5,6	6,6

Таблица 3. Характеристика сортов хлопчатника по хозяйственно ценным признакам
(Прикаспийский аграрный федеральный научный центр, с. Соленое Займище, 2013–2018 гг.)

Table 3. Data on agronomic traits of cotton cultivars
(Caspian Agrarian Federal Research Center, Solenoe Zaimishche, 2013–2018)

Годы	Продолжительность периода «всходы – созревание», дни		Масса хлопка-сырца 1 коробочки, г		Продуктивность 1 растения, г		Выход волокна, %		Длина волокна, мм	
	Браун	АС-5	Браун	АС-5	Браун	АС-5	Браун	АС-5	Браун	АС-5
2013	118	124	5,4	5,5	13,3	13,5	35,6	36,8	31,2	32,3
2014	99	106	4,9	6,4	38,3	75,2	36,6	37,5	30,1	30,8
2015	97	104	5,3	5,5	17,7	31,8	35,2	36,6	30,1	30,7
2016	112	99	5,7	5,8	13,9	23,8	35,9	35,3	30,6	32,8
2017	111	94	5,7	4,1	25,2	17,1	38,9	42,8	30,4	31,6
2018	104	106	5,3	4,8	20,0	16,1	34,0	32,3	29,3	32,4

Анализ данных таблиц 4 и 5 демонстрирует сходство средних показателей сортов по большинству признаков, но размах изменчивости по выборке у сорта 'Браун', как правило, ниже, что свидетельствует о пластичности сорта, его выровненности и приспособленности к условиям полупустыни Прикаспийской низменности. Лишь по высоте закладки первой симподиальной ветви и числу коробочек на растение размах изменчивости выше у сорта 'Браун', но незначительно.

Двухфакторный дисперсионный анализ подтвердил сходство между сортом 'Браун' и стандартом по основным изученным признакам (табл. 6). Значимые отличия отмечены лишь по длине волокна. Основной вклад в изменчивость признаков вносят погодные условия, однако достоверные различия наблюдались только для числа моноподиальных (вегетативных) ветвей и выхода волокна. Значительная доля изменчивости приходится на случайные факторы, что свидетельствует о разнонаправленности вектора изменчи-

вости отдельных признаков у двух сортов в разные годы. Также на результат может влиять ограниченность выборки. Самым нестабильным признаком оказалась масса хлопка-сырца одной коробочки – доля случайных факторов составляет 82%.

Незначительное различие по качеству волокна не снижает ценности сорта, так как по физико-механическим свойствам (HVI, 2013–2014 гг.) волокно 'Браун' (линия 7С) относится к 5 типу второго-первого сорта. Волокно 4 и 5 типов наиболее востребовано, из него вырабатываются такие ценные виды материи, как шифон, зефир, поплин, трикотаж (Platonova, Maslova, 2001).

Расчет экономической эффективности доказывает (табл. 7), что возделывание хлопчатника с природно-окрашенным волокном в условиях севера Астраханской области на светло-каштановых почвах при капельном способе полива является экономически рентабельным.

Изделия из природно-окрашенного волокна практичны, внешне привлекательны, не линяют при стирке.

Таблица 4. Изменчивость сортов по структуре растения за период исследований
(Прикаспийский аграрный федеральный научный центр, с. Солёное Займище, 2013–2018 гг.)

Table 4. Variability of plant structure characters over the years
(Caspian Agrarian Federal Research Center, Solenoe Zaimishche, 2013–2018)

Сорт	H, см			mnp, шт.			sim, шт.			qc, шт.			nnd		
	X	Min	Max	Std. Dev.	X	Min	Max	Std. Dev.	X	Min	Max	Std. Dev.	X	Min	Max
Браун	87,90	68,20	114,20	19,54	0,90	0	3	0,76	8,63	8	11	1,24	6,70	4	14
АС-5	88,92	65,70	126,80	22,06	0,82	0	3	0,94	8,97	7	12	1,79	6,12	2	11

Примечание: H – высота растения; mnp – число моноподиев на растение; sim – число симподиев на растение; qc – число коробочек на растение; nnd – номер узла первой симподиальной ветви; X – среднее значение; Min – минимальное значение признака; Max – максимальное значение признака; Std. Dev. – стандартное отклонение

Note: H – plant height; mnp – number of monopodia per plant; sim – number of sympodia per plant; qc – number of bolls per plant; nnd – No. of the node of the first sympodial branch; X – mean; Min – minimum; Max – maximum; Std. Dev – standard deviation

Таблица 5. Изменчивость сортов по хозяйственно ценным признакам за период исследований
(Прикаспийский аграрный федеральный научный центр, с. Солёное Займище, 2013–2018 гг.)

Table 5. Variability of agronomic characters over the years
(Caspian Agrarian Federal Research Center, Solenoe Zaimishche, 2013–2018)

Сорт	g-mt, дн			mc, г			p, г			%f			lf, мм		
	X	Min	Max	Std. Dev.	X	Min	Max	Std. Dev.	X	Min	Max	Std. Dev.	X	Min	Max
Браун	107	97	118	8,18	5,18	3,70	5,70	0,75	21,40	13,30	38,30	9,35	36,03	34,00	38,90
АС-5	106	94	124	10,19	5,35	4,10	6,40	0,80	29,58	13,50	75,20	23,30	36,88	32,30	42,80

Примечание: g-mt – продолжительность периода «всходы – созревание»; mc – масса хлопка-сырца 1 коробочки; p – продуктивность одного растения; %f – выход волокна; lf – длина волокна, X – среднее значение; Min – минимальное значение признака; Max – максимальное значение признака; Std. Dev. – стандартное отклонение

Note g-mt – germination-to-maturity period duration; mc – weight of cotton-seed per 1 boll; p – productivity per plant; %f – fiber yield; lf – fiber length; X – mean; Min – minimum; Max – maximum; Std. Dev – standard deviation

Таблица 6. Влияние генотипа и погодных условий на общую изменчивость признаков хлопчатника
(Прикаспийский аграрный федеральный научный центр, с. Соленое Займище, 2013–2018 гг.)**Table 6. The effect of the genotype and weather conditions on overall variability of cotton characters**
(Caspian Agrarian Federal Research Center, Solenoe Zaimishche, 2013–2018)

Признак	Степень влияния генотипа и условий среды на изменчивость признака (%)		
	Генотип	Условия среды	Случайные факторы
Высота растения	0	77	23
Число моноподиев на растение	0	86*	14
Число симподиев на растение	1	63	36
Число коробочек на растение	1	42	57
Номер узла первой симподиальной ветви	1	57	42
Продолжительность вегетационного периода	1	65	34
Масса хлопка-сырца 1 коробочки	1	17	82
Продуктивность одного растения	6	74	20
Выход волокна	3	85*	12
Длина волокна	53*	28	19

Примечание: * – влияние фактора достоверно при $P \leq 0,05$ Note: * – the factor's effect is statistically significant at $P \leq 5\%$ **Таблица 7. Экономическая эффективность возделывания хлопчатника с природно-окрашенным волокном**
(Прикаспийский аграрный федеральный научный центр, с. Соленое Займище, 2013–2014 гг.)**Table 7. Cost efficiency for cultivation of cotton with naturally colored fiber**
(Caspian Agrarian Federal Research Center, Solenoe Zaimishche, 2013–2014)

Название линии	Урожайность, т/га	Цена реализации 1 т, руб.	Стоимость валовой продукции, руб.	Прямые затраты, руб./га	Себестоимость, руб./т	Чистый доход, руб./т	Чистый доход, руб./га	Уровень рентабельности, %
7С	4,0	39 083	156 332	67 268	16 817	22 266	89 064	132

Выводы

Результатом многолетней работы стало создание первого отечественного сорта средневолокнистого хлопчатника 'Браун' со светло-коричневым волокном, полученного методом индивидуального отбора из гибридной комбинации Генетик 34 (Туркмения, позднеспелый, коричневое волокно) × С2 8101-73 (к-8112, Албания).

Разностороннее изучение линии 7С со светло-коричневым волокном в сравнении с беловолокнистым стандартом 'АС-5' показало, что она достаточно стабильна, меньше зависит от погодных условий, чем беловолокнистый стандарт. По большинству признаков, в том числе по продуктивности и выходу волокна, линия не уступала

стандарту, лишь по качеству волокна стандарт несколько его превосходил. Однако 5 тип, к которому относится природно-окрашенное волокно линии, наряду с 4 типом, наиболее востребован при производстве товаров широкого потребления.

Линия внесена в Госреестр сортов РФ под названием 'Браун' в 2019 г. Авторы сорта: М. Ш. Асфандиярова, Л. П. Подольная, А. Г. Дубовская, Р. К. Туз. Авторам выдан патент на селекционное достижение за номером 10638 (Asfandiarova et al., 2019).

Выращивание сорта 'Браун' на юге России позволит производить текстильные изделия из природно-окрашенного волокна, что уменьшит нагрузку на окружающую среду и оздоровит население за счет снижения случаев аллергической реакции.

References / Литература

- Asfandiurova M.Sh., Podolnaya L.P., Dubovskaya A.G., Tuz R.K. Cotton *Gossypium hirsutum* L. BRAUN (Khlopchatnik *Gossypium hirsutum* L. BRAUN). Russian Federation; breeding achievement patent number: 10638; 2019. [in Russian] (Асфандиярова М.Ш., Подольная Л.П., Дубовская А.Г., Туз Р.К. Хлопчатник *Gossypium hirsutum* L. БРАУН. Российская Федерация; патент на селекционное достижение № 10638; 2019).
- Aslam M.M., Baig M.A., Hassan I., Qazi I.A., Malik M., Saeed H. Textile wastewater characterization and reduction of its COD & BOD by oxidation. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*. 2004;3(6):1-9.
- Chaudhry M.R. Cotton facts. Technical paper No25 for the common Fund for commodities. Washington DC: International Cotton Advisory Committee; 2003.
- Davidyan G.G., Rykova R.P., Kutuzova S.N., Vakhrusheva T.E., Drugova I. F., Rummyantseva L.T. Studying fiber plant collections (cotton, flax, and hemp). Guidelines (Izucheniye kollektsiy pryadilnykh rasteniy [khlopchatnik, len, konoplya]. Metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1978. [in Russian] (Давидян Г.Г., Рыкова Р.П., Кутузова С.Н., Вахрушева Т.Е., Другова И.Ф., Румянцева Л.Т. Изучение коллекций прядильных растений (хлопчатник, лен, конопля). Методические указания. Ленинград: ВИР; 1978).
- Dickerson D.K., Lane E.F., Rodriguez D.F. Evaluation of selected performance characteristics of naturally colored cotton knit fabrics. *California Agricultural Technology Institute Research Publications*. 1996;961003:5-12.
- Dutt Y., Wang X.D., Zhu Y.G., Li Y.Y. Breeding for high yield and fibre quality in colored cotton. *Plant Breeding*. 2004;123(2):145-151. DOI: 10.1046/j.1439-0523.2003.00938.x
- Efe L., Mustafayev F.S., Killi F. Agronomic, fiber and seed quality traits of naturally coloured cottons in East Mediterranean region of Turkey. *Pakistan Journal of Botany*. 2010;42(6):3865-3873.
- Gurel A., Akdemir H., Karadayr H.B. Cultivation possibilities of naturally-coloured cottons under Aegean region conditions. *Journal of Aegean Agricultural Research Institute*. 2001;11(1):56-70.
- Hessel C., Allegre C., Maisseu M., Charbit F., Moulin P. Guidelines and legislation for dye house effluents. *Journal of Environmental Management*. 2007;83(2):171-180. DOI: 10.1016/j.jenvman.2006.02.012
- Hua Sh., Yuan S., Shamsi I.H., Zhao X., Zhang X., Liu Y. et al. A comparison of three isolines of cotton differing in fiber color for yield, quality, and photosynthesis. *Crop Science*. 2009;49(3):983-989.
- Illarionova K., Grigoryev S. Micromycetes-resistant colored cotton is promising material to reduce mycotoxins amounts in textiles. *E3S Web of Conferences*. 2020;164:06015. DOI: 10.1051/e3sconf/202016406015
- Mustafayev S., Efe L., Gokkaya B., Alaskerov K. Naturally coloured cotton in their future perspectives. In: M. Oglakci, B. Cicek (eds). *Proceedings of 1st Symposium on Cotton Production, Fiber Technology and Textile in Turkish World; 28 September – 01 October 1999; Kahramanmaraş, – Turkey*. Kahramanmaraş; 1999. p.315-324.
- Pearce C.I., Lloyd J.R., Guthrie J.T. The removal of colour from textile wastewater using whole bacterial cells: a review. *Dyes and Pigments*. 2003;58(3):179-196. DOI: 10.1016/S0143-7208(03)00064-0
- Platonova O.P., Maslova N.A. The use of HVI in the textile industry: manual (Primeneniye "HVI" v tekstilnoy promyshlennosti: posobiye). Moscow; 2001. [in Russian] (Платонова О.П., Маслова Н.А. Применение «HVI» в текстильной промышленности: пособие. Москва; 2001).
- Podolnaya L.P. The results of studying accessions from VIR's cotton collection in Italy (Rezultaty izucheniya obraztsov iz kollektsii khlopchatnika VIR v Italii). In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Genetic resources of Cultivated Plants. Problems of Collecting, Documenting, Conserving and Studying the Diversity of Major Agricultural Crops for Solving Priority Tasks of Plant Breeding"*; November 13–16, 2001; St. Petersburg (Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Problemy mobilizatsii, inventarizatsii, sokhraneniya i izucheniya genofonda vazhneyshikh selskokhozyaystvennykh kultur dlya resheniya prioritnykh zadach selektsii"; 13–16 noyabrya 2001 g.; Sankt-Peterburg). St. Petersburg; 2001. p.376-378. [in Russian] (Подольная Л.П. Результаты изучения образцов из коллекции хлопчатника ВИР в Италии. В кн.: Материалы научно-практической конференции «Проблемы мобилизации, инвентаризации, сохранения и изучения генофонда важнейших сельскохозяйственных культур для решения приоритетных задач селекции»; 13–16 ноября 2001 г., Санкт-Петербург. Санкт-Петербург; 2001. С.376-378).
- Podolnaya L.P., Grigorev S.V., Illarionova K.V., Asfandiurova M. Sh., Tuz R.K., Khodjaeva N.A., Miroschnichenko E.V. Cotton in Russia. Actuality and prospect. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2015;29(7):56-58. [in Russian] (Подольная Л.П., Григорьев С.В., Илларионова К.В., Асфандиярова М.Ш., Туз Р.К., Ходжаева Н.А., Мирошниченко Е.В. Хлопчатник в России. Актуальность и перспективы. Достижения науки и техники АПК. 2015;29(7):56-58).
- Ranganathan K., Karunakaran K., Sharma D.C. Recycling of wastewaters of textile dyeing industries using advanced treatment technology and cost analysis – Case studies. *Resources, Conservation and Recycling*. 2007;50(3):306-318. DOI: 10.1016/j.resconrec.2006.06.004
- Sun D.L., Sun J.L., Jia Y.H., Ma Z.Y., Du X.M. Genetic diversity of colored cotton analyzed by simple sequence repeat markers. *International Journal of Plant Science*. 2009;170(1):76-82. DOI: doi.org/10.1086/593037
- Tian J., Jia Y., He S., Huang Y., Du X. The differential expression of fiber pigment-related genes in colored cotton. In: *Plant Genomics in China XII; August 19–21, 2011; Anyang, China*. Anyang; 2011. p.128.
- Ware J.O. Inheritance of lint colors in upland cotton. *Agronomy Journal*. 1932; 24(7):550-562.
- Williams A.A.J., McRae D., Kouadio L., Mushtaq Sh., Davis P. Cotton and Climate Change in Agroclimatology. In: J.L. Hatfield, M.V.K. Sivakumar, J.H. Prueger (eds). *Agronomy Monographs. Vol. 60. Agroclimatology: Linking Agriculture to Climate*. Madison, WI: American Society of Agronomy; 2018. p.343-368. DOI: 10.2134/agronmonogr60.2016.0009
- Yatsu L.Y., Espelie K.E., Kolattukudy P.E. Ultrastructural and chemical evidence that the cell wall of green cotton fiber is suberized. *Plant Physiology*. 1983;73(2):521-524. DOI: 10.1104/pp.73.2.521
- Zhang X., Pan L.P., Du M., Chen Z., Hua W.C., Yuan C., Di D.Z., Hua C.D. Physiological characteristics associated with fiber development in two naturally colored cotton cultivars. *Agronomy Journal*. 2019;111(3):1190-1197. DOI: 10.2134/agronj2018.03.0166

Zvolinski V.P. Integrated development of multisectoral agricultural production in the Lower Volga agroindustrial system (Kompleksnoye razvitiye mnogootraslevogo selskokhozyaystvennogo proizvodstva v sisteme APK Nizhney Volgi).

Moscow: RUDN; 1991. [in Russian] (Зволинский В.П. Комплексное развитие многоотраслевого сельскохозяйственного производства в системе АПК Нижней Волги. Москва: РУДН; 1991).

Информация об авторах

Руслан Константинович Туз, кандидат сельскохозяйственных наук, ученый секретарь, Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук, 416251 Россия, Астраханская обл., Черноярский р-н, с. Соленое Займище, квартал Северный, 8, tuzzzz@hotmail.ru

Минира Шаймардановна Асфандиярова, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией, Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук, 416251 Россия, Астраханская обл., Черноярский р-н, с. Соленое Займище, квартал Северный, 8, asfand_m@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3801-3734>

Лариса Петровна Подольная, 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, l.podolnaya@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4962-1989>

Information about the authors

Ruslan K. Tuz, Cand. Sci. (Agriculture), Scientific Secretary, Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 8 Severny Block, Solenoe Zaimishche, Chernoyarsky District, Astrakhan Province 416251, Russia, tuzzzz@hotmail.ru

Minira Sh. Asfandiiairova, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 8 Severny Block, Solenoe Zaimishche, Chernoyarsky District, Astrakhan Province 416251, Russia, asfand_m@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3801-3734>

Larisa P. Podolnaya, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, l.podolnaya@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4962-1989>

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 05.12.2021; одобрена после рецензирования 14.01.2023; принята к публикации 02.03.2023. The article was submitted on 05.12.2021; approved after reviewing on 14.01.2023; accepted for publication on 02.03.2022.

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

Научная статья
УДК 633.521:631.527
DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-163-176



Молекулярно-генетическое разнообразие сортов льна (*Linum usitatissimum* L.), представленных в Госреестре селекционных достижений Российской Федерации

Т. А. Базанов, И. В. Ущাপовский, Н. Н. Логинова, Е. В. Смирнова, П. Д. Михайлова

Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

Автор, ответственный за переписку: Тарас Александрович Базанов, t.bazanov@fncl.ru

Актуальность. При исследовании генетического разнообразия сельскохозяйственных растений, представленного как в виде разрешенных к возделыванию сортов, так и в виде многообразия образцов рабочих и национальных коллекций, применяют молекулярные маркеры, которые позволяют проводить идентификацию сортов, устанавливать филогенетические связи между ними и выявлять ценные генотипы для создания новых высокопродуктивных сортов. Одним из эффективных способов решения этих задач является применение SSR-маркеров. Целью данной работы является изучение генетического разнообразия современных сортов льна, представленных в Госреестре сортов Российской Федерации, с помощью SSR-маркеров, определение их филогенетических связей и генетическая паспортизация.

Материалы и методы. Объектом исследования стали 82 сорта льна (60 сортов льна-долгунца, 22 сорта льна масличного) и 3 образца стародавних кряжевых льнов. Генетический анализ проводился методом ПЦР с использованием набора из 11 SSR-маркеров, меченых флуоресцентными красителями, с последующей детекцией продуктов на генетическом анализаторе.

Результаты. При исследовании сортов было обнаружено 50 аллелей в 11 локусах, количество аллелей на локус варьировало от 2 до 10, в среднем 4,55 аллелей. Каждый образец льна содержал свойственный только ему набор аллелей.

Заключение. Полученная SSR-база данных позволила разработать генетические паспорта каждого сорта в виде буквенно-цифрового кода. Также был проведен кластерный анализ и построена дендрограмма генетического подобия. Выявленные родственные связи между сортами согласуются с информацией об их происхождении.

Ключевые слова: лен-долгунец, лен масличный, ДНК-маркеры, ПЦР, полиморфизм, генетическая паспортизация, селекция

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России по теме № 0477-2019-0023.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Базанов Т.А., Ущাপовский И.В., Логинова Н.Н., Смирнова Е.В., Михайлова П.Д. Молекулярно-генетическое разнообразие сортов льна (*Linum usitatissimum* L.), представленных в Госреестре селекционных достижений Российской Федерации. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):163-176. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-163-176

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-163-176

Molecular genetic diversity of flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.) represented in the State Register for Selection Achievements of the Russian Federation

Taras A. Bazanov, Igor V. Uschapovsky, Natalya N. Loginova, Ekaterina V. Smirnova, Polina D. Mikhailova

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia

Corresponding author: Taras A. Bazanov, t.bazanov@fncl.ru

Background. When researching crop genetic diversity, including flax species, molecular markers are used to identify cultivars, establish phylogenetic relationships among them and select valuable genotypes and sources of useful traits. One of the effective ways to solve these tasks is the use of SSR markers, as a molecular method. The aim of this work was to study the molecular genetic polymorphism of modern flax cultivars listed in the State Register for Selection Achievements of the Russian Federation, find out their phylogenetic relationships and develop a version of their genetic certification.

Materials and methods. The materials for the research were 82 flax cultivars (60 cultivars of fiber flax and 22 of oilseed flax) and 3 ancient landraces. Genetic analysis was carried out using the PCR method with a set of 11 SSR markers labeled with fluorescent dyes, followed by the detection of products on the genetic analyzer.

Results. The study of the cultivars revealed 50 alleles at 11 loci, with the number of alleles per locus ranging from 2 to 10, averaged to 4.55 alleles per locus. Each flax sample contained a unique set of alleles.

Conclusion. The resulting SSR database made it possible to develop genetic certificates for each cultivar in the form of an alphanumeric code. A cluster analysis was also carried out and a dendrogram of genetic similarity was constructed. The identified sib relationships among the cultivars confirmed the information about their origin.

Keywords: fiber flax, oilseed flax, DNA markers, PCR, polymorphism, genetic certification, breeding

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the state task assigned by the Ministry of Education and Science of Russia, Theme No. 0477-2019-0023.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Bazanov T.A., Uschapovsky I.V., Loginova N.N., Smirnova E.V., Mikhailova P.D. Molecular genetic diversity of flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.) represented in the State Register for Selection Achievements of the Russian Federation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):163-176. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-163-176

Введение

Лен (*Linum usitatissimum* L.), традиционно входящий в структуру посевов Российской Федерации, в зависимости от биологической формы растения – лен-долгунец, межеумок или кудряш – классифицируется как прядильная или как масличная культура. В последнее десятилетие в России площадь возделывания льна-долгунца составляет порядка 50 тыс. га., масличного льна – более 1 млн га. Благодаря тому, что из растения можно получать и волокнистую, и семенную продукцию, лен нашел применение в самых разных сферах народного хозяйства (Ponazhev et al., 2014; Saha et al., 2019; Nag et al., 2020; Jiang et al., 2022). Так, для получения льноволокна, необходимого для текстильной, медицинской, химической промышленности, используется до 40–50% тресты льна-долгунца. Оставшаяся часть – костра, являющаяся побочным продуктом – применяется для получения энергии в строительной и других отраслях промышленности. Масло, получаемое из семян масличного льна, в зависимости от жирнокислотного состава, применяется в пищевой, фармацевтической и химической промышленности (Porokhvinova et al., 2019; Nagabhushanam et al., 2021; Saroha et al., 2021).

В практике международного сельскохозяйственного производства национальные системы сертификации селекционных достижений оценивают и предлагают сорта, наиболее подходящие (районированные) для потенциальных агроклиматических зон возделывания культуры. Госсортокомиссия Минсельхоза России предлагает для льноводных хозяйств около 100 районированных сортов *L. usitatissimum* для различных регионов страны (State Register..., 2022). Большая часть современных сортов и гибридов льна получена с помощью традиционных методов селекции, однако применение новых биотехнологических методов ускорит получение конкурентоспособных сортов (Noque et al., 2020). При создании новых высокопродуктивных и устойчивых сортов необходимым условием является наличие генетического разнообразия селекционного материала. Генетические ресурсы являются основой для поиска новых генов, перспективных комбинаций признаков и получения улучшенных сортов. Эффективность данного этапа работы зависит от возможности оценить генетический полиморфизм исходного материала (You et al., 2019; Noque et al., 2020; Talebi, Matsuyura, 2021).

Одним из эффективных индикаторов полиморфизма являются генетические маркеры (Jiang et al., 2022). Идентификация сортов с помощью ДНК-маркеров также является важным шагом на пути к повышению урожайности и качества (Pan et al., 2020). С помощью генетических маркеров можно отбирать родительские формы для дальнейшей селекции, а также гетерозиготные формы, обладающие необходимой комбинацией признаков. (Nagabhushanam et al., 2021).

Анализ генетических ресурсов растений с помощью молекулярных маркеров позволяет выявлять скрытую изменчивость и тем самым целенаправленно подходить к более точной дифференциации и идентификации сортов, коллекционных образцов, в том числе и к выявлению ценных генотипов. Эти новые методы используются для определения генетического полиморфизма (Niyitanga et al., 2021).

В настоящее время насчитывается большое количество различных видов молекулярных маркеров. Каждый из них обладает определенными достоинствами. «Иде-

альные» молекулярные маркеры для селекции характеризуются особыми свойствами. Они высокополиморфны, надежны и воспроизводимы, равномерно распределены по геному, легко анализируемы и относительно недороги (Chesnokov, 2018). Широко распространены SSR-маркеры, которые представляют собой простые повторяющиеся фрагменты генома. Микросателлитные последовательности распространены повсеместно в ДНК высших растений. Их главными отличиями от других генетических маркеров является более высокий уровень полиморфизма, стабильное наследование в поколениях и охват разных областей генома. В ходе ПЦП с SSR-маркерами образуются ампликоны, различающиеся по длине на один или более нуклеотидов, в результате чего для каждого сорта растений возможно определить набор специфичных только для данного сорта аллелей. Для льна в настоящее время описано более 1300 SSR-маркеров, что выгодно отличает его от других сельскохозяйственных культур (El Sayed et al., 2018; Cullis, 2019; Nag et al., 2020; Pan et al., 2020).

Метод SSR-PCR был разработан J. Weber и P. May в 1989 г. Праймерами выступают последовательности, фланкирующие микросателлиты, которые обычно идентифицируют один мультиаллельный локус. Для анализа результатов используют секвенирующие гели, на которых можно увидеть различия в один нуклеотид. Таким образом можно детектировать каждый аллель. Источником полиморфизма при использовании этого типа маркеров является изменяющееся количество повторов и, соответственно, размеры амплифицированных фрагментов, соответствующих разным аллелям.

Целью данной работы является изучение молекулярно-генетического разнообразия сортов льна (*L. usitatissimum*), представленных в Госреестре селекционных достижений Российской Федерации, определение филогенетических связей и генетическая паспортизация исследуемых сортов.

Материалы и методы

В качестве материала для исследований было отобрано 60 сортов льна-долгунца и 22 сорта льна масличного, включенных в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации и представляющих результаты селекции учреждений-оригинаторов из географически различных мест. Также в исследование были включены три коллекционных образца – «крайевые льны», происходящие из Псковской области. Исследованные сорта растений с указанием оригинатора приведены в таблице 1.

ДНК выделяли из листьев (50–100 мг) четырехлетних растений с использованием СТАВ-метода, модифицированного для выделения из лубяных культур. Пробы ДНК объединялись из восьми растений для каждого сорта. Амплификацию фрагментов ДНК проводили с помощью набора из 11 SSR-праймеров, меченных флуоресцентными красителями, разработанных и произведенных ООО «НПФ Синтол» (Россия) для генетической паспортизации льна. Их нуклеотидные последовательности приведены в таблице 2.

Реакционная смесь во всех случаях включала оптимально подобранные количества исследуемой ДНК, прямого и обратного праймера, dNTP, $MgCl_2$ и Taq-полимеразы. При проведении ПЦП использовали амплификатор MyCycler™ (Bio-Rad Laboratories, Inc.), реакция осуществлялась при 94°C в течение 5 мин, далее 35 циклов дена-

Таблица 1. Исследованные сорта льна

Table 1. The studied flax cultivars

Сорт / Cultivar		Оригинатор / Originator
Сорта льна-долгунца / Cultivars of fiber flax		
Агата, Мелина		Limagrain Nederland BV, г. Лейстад, Нидерланды
Мерилин		Van de Bilt Zaden BV, г. Слуискил, Нидерланды
Василек	Ласка	Институт льна, г. Орша, НАН Беларуси
Веста	Левит 1	
Грант	Пралеска	
А 29	Новоторжский	Федеральный научный центр лубяных культур, обособленное подразделение НИИ льна (ОП НИИЛ), г. Торжок
А 93	Полет	
Александрит	Росинка	
Алексим	Славный 82	
Альфа	Тверской	
Визит	Тверца	
Дипломат	Тонус	
Зарянка	Торжокский 4	
Лазурный	Универсал	
Ленок	Цезарь	
Могилевский 2	Сурский	
Надежда		
Антей	Пересвет	Федеральный научный центр лубяных культур, обособленное подразделение Псковский НИИСХ (ОП Псковский НИИСХ), г. Псков
Восход	Прибой	
Добрыня	Псковский 359	
Кром	Псковский 85	
Норд	Русич	
Орион		
Импульс	Смоленский	Федеральный научный центр лубяных культур, обособленное подразделение Смоленский НИИСХ (ОП Смоленский НИИСХ), г. Смоленск
Лидер	Смолич	
С 108	Союз	
Белочка	Синичка	Вятская государственная сельскохозяйственная академия (ВСХА), г. Киров
Памяти Крепкова	Тост	Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН (СФНЦА РАН), г. Томск
Томич	Тост 3	
Томский 16	Тост 4	
Томский 17	Тост 5	
Томский 18		

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

Сорт / Cultivar		Оригинатор / Originator
Сорта масличного льна / Cultivars of oilseed flax		
Август	Радуга	Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта (ФНЦ ВНИИМК), г. Краснодар
Бирюза	Ручеек	
ВНИИМК 620	РФН	
ВНИИМК 620 ФН	Светлячок	
ВНИИМК 630	Северный	
Даник	Сокол	
Исилькульский	Флиз	
Небесный	Ы 117	
Нилин		
ЛМ 98		Федеральный научный центр лубяных культур, обособленное подразделение НИИ льна (ОП НИИЛ), г. Торжок
Исток		Федеральный научный центр лубяных культур, обособленное подразделение Пензенский НИИСХ (ОП Пензенский НИИСХ), г. Пенза
Кинельский 2000		Самарский федеральный исследовательский центр РАН (СФИЦ РАН), г. Кинель
Илим		Институт льна, г. Орша, НАН Беларуси
Чибис		Баранник В.А., г. Белгород
Ландрасы		
Псковский	Гдовский	Псковская область
Зарецкий		

Таблица 2. Нуклеотидные последовательности SSR-маркеров льна

Table 2. Nucleotide sequences of SSR markers in flax

SSR-маркер / SSR marker	Прямой праймер (5'-3') / Forward primer (5'-3')	Обратный праймер (5'-3') / Reverse primer (5'-3')
Lin1	TTGGGATTGAGAAGAGGG	ATAAGGCCAAATAGAGAGGAAAG
Lin2	AGGATTACAACAAGAGACTG	ATATTGACAGGGGAGGAAATAG
Lin3	TTTGCAACGTCAATACCG	ATATCGCCTCAATAACAACAG
Lin4	CCTCAGTAGCATCGGTG	ATATTGGCCTATAAAAAGACACT
Lin5	GAAGAAGAAGGCGGGTAC	ATACACAGCTGAAAGCAAGATAAC
Lin6	GGGAGAACAACAAGAGAG	ATACGACAGGAACAACACG
Lin7	GCCGCCAGAAGAAATG	ATACTGGCAGCTTAATCAACC
Lin8	TCTGGGTACAACCAGAAAC	ATAGACTTAGAGACGATTGGAAACTG
Lin9	CGTCTACAACCTGGAGACAC	ATAGGCGACAAGGGAGG
Lin10	CAACGGAGACCAATCAG	ATACCCAGTCTACTCAGCTAG
Lin11	TAGTAATAAGAAGGAGCCAAG	ATAGCATCCAACAAAGGGTG

турации при температуре 94°C в течение 30 с, отжиг праймеров в течение 45 с (температура отжига подбирается в зависимости от праймера), а затем элонгация при 72°C в течение 40 с. Конечная элонгация выполнялась при 72°C 5 мин.

Продукты амплификации денатурировали формидом и разделяли методом капиллярного электрофореза на генетическом анализаторе НАНОФОР 05 (ООО «НПФ Синтол»). Учет результатов анализа проводился по наличию или отсутствию в образце аллелей определенной длины в конкретном локусе. Полученные результаты записывали в виде бинарной матрицы, которая использовалась далее для создания молекулярно-генетической формулы сорта. Генетический анализ полученных данных выполнялся с использованием надстройки GenAlex 6.5 (GenAlexsoftware), для построения дендрограммы генетического подобия использовали программное обеспечение DARwin v.6 (DARwinsoftware).

Результаты и обсуждение

Полученная путем фрагментного анализа SSR-база данных с использованием 11 пар SSR-праймеров позволила провести исследование полиморфизма 60 сортов льна-долгунца, 22 сортов льна масличного и трех ландрас. Результаты отражены в таблице 3. Учитывая весь набор данных из 85 генотипов, в общей сложности 50 аллелей было обнаружено в 11 локусах, при этом количество аллелей на локус варьировало от 2 (Lin1 и Lin5) до 10 (Lin10 и Lin11), в среднем 4,55 аллелей на локус. Анализ распределения аллелей показал, что каждый образец льна содержит свойственный только ему набор аллелей. Ожидаемые значения гетерозиготности находились в диапазоне 0,034–0,761 со средним значением 0,51, при этом значения наблюдаемой гетерозиготности варьировали от 0,035 до 1 с достаточно высоким средним значе-

нием 0,47. Такие значения гетерозиготности свойственны микросателлитным локусам из-за множественности аллельных вариантов, обусловленных изменчивостью числа повторяющихся мотивов ДНК. Полученные данные характеризуют использованные SSR-маркеры как разнообразные и в достаточной мере полиморфные, что позволяет применять их для генетической дифференциации и изучения филогенетических отношений сортов.

На основе результатов исследования 11 SSR-маркеров был выполнен кластерный анализ. Дендрограмма генетического подобия между изученными образцами льна была построена методом Neighbor Joining Method (Saitou, Nei, 1987).

При анализе общей дендрограммы изученных сортов отмечается три основных кластера льна-долгунца и льна масличного (рис. 1). В кластер А вошли все сорта льна масличного. Кластеры В и С объединяют сорта льна-долгунца.

Внутрикластерный анализ позволяет рассматривать наличие филогенетических отношений между сортами. Так, кластер А, состоящий из масличных льнов, разделен на две группы – А1 и А2 (рис. 2).

Группа А1 содержит девять сортов селекции ВНИИМК, имеющих общие генеалогические связи. Так, согласно установленным данным, сорт 'ВНИИМК 620 ФН' выведен методом индивидуального отбора из 'ВНИИМК 620', который также участвовал в создании сорта 'Даник'. Сорт 'РФН' получен методом индивидуального отбора из сорта 'Ручеек'.

Группа А2 содержит как сорта селекции ВНИИМК, так и сорта остальных оригинаторов. Сорта данной группы представляют собой результаты селекционной работы по скрещиванию и многократному индивидуальному отбору из линий и образцов различного географического происхождения (США, Канада, Казахстан, Россия и т. д.). Например, сорт 'Северный' в своей родословной имеет

Таблица 3. Характеристика полиморфных SSR-локусов льна

Table 3. Characterization of polymorphic SSR loci in flax

SSR-маркер / SSR marker	Размер аллелей (пн) / Size of alleles (bp)	N _A	N _E	H ₀	H _E
Lin1	323–330	2	1,035	0,035	0,034
Lin2	425–437	3	2,139	1	0,532
Lin3	194–216	3	1,640	0,337	0,390
Lin4	307–315	3	1,570	0,093	0,363
Lin5	406–419	2	1,987	0,128	0,497
Lin6	164–195	4	2,372	1	0,578
Lin7	379–388	3	2,346	0,186	0,574
Lin8	117–156	7	2,399	0,233	0,583
Lin9	289–295	3	2,173	0,314	0,540
Lin10	234–270	10	3,642	1	0,725
Lin11	163–183	10	4,182	0,884	0,761
Среднее значение на локус / Mean value per locus		4,55	2,32	0,47	0,51

Примечание: N_A – количество аллелей на локус; N_E – количество эффективных аллелей на локус; H_E – ожидаемая гетерозиготность; H₀ – наблюдаемая гетерозиготность

Note: N_A – number of alleles per locus; N_E – number of effective alleles per locus; H_E – expected heterozygosity; H₀ – observed heterozygosity



Рис. 1. Полная схема дендрограммы генетического подобиия изученных сортов льна

Fig. 1. Complete dendrogram of the genetic similarity among the studied flax cultivars

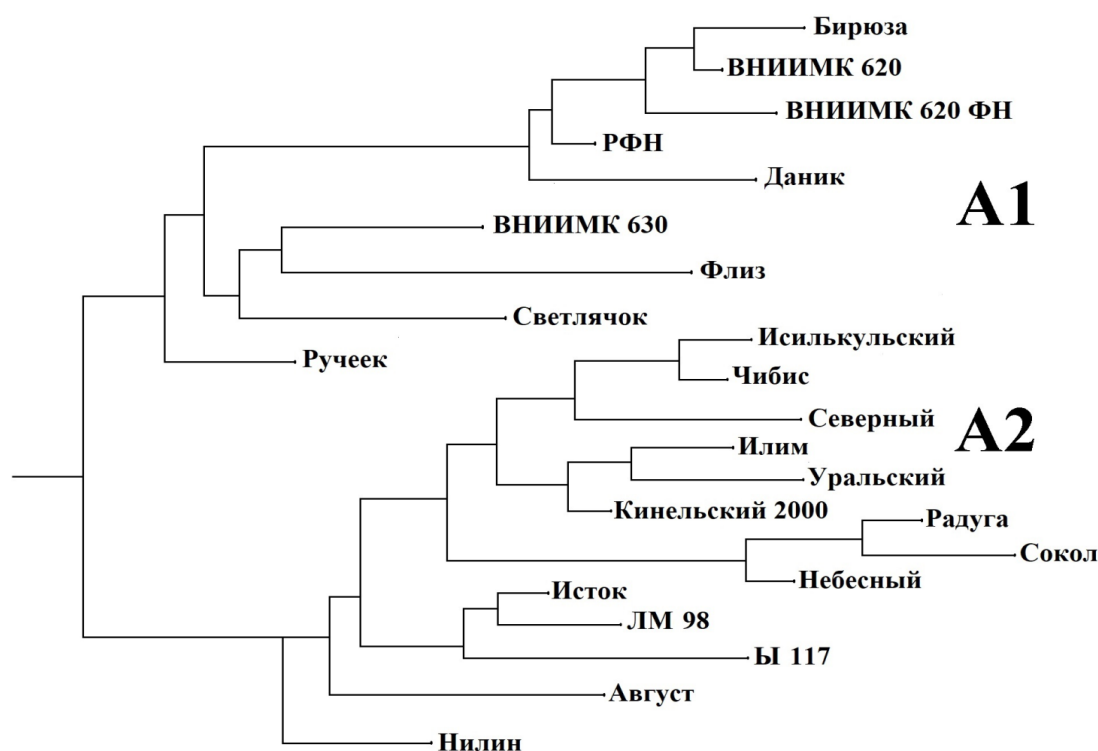


Рис. 2. Дендрограмма генетического подобия сортов льна масличного

Fig. 2. Dendrogram of the genetic similarity among oilseed flax cultivars

марокканский образец. Сорта 'Небесный' и 'Сокол' происходят от различных комбинаций скрещиваний с сортом 'Союз', сорт 'Радуга' получен из гибридной комбинации с сортом 'Небесный'.

Генетический паспорт сорта должен содержать информацию о количестве и размере аллелей определенных локусов, характеризующих генотип данного сорта. Паспорта представляют собой молекулярно-генетическую формулу, где каждому генетическому локусу соответствует буквенный код (A – Lin1, B – Lin2, C – Lin3, D – Lin4, E – Lin5, F – Lin6, G – Lin7, H – Lin8, I – Lin9, J – Lin10, K – Lin11), а индекс означает размер аллеля данного локуса.

Генетические паспорта сортов, составляющих кластер А, представлены в таблице 4.

Кластер В, представленный на рисунке 3, состоит из десяти сортов льна-долгунца от различных оригина-

ров. В него вошли голландские сорта 'Мерилин', 'Мелина' и 'Агата', сорта селекции ОП НИИЛ 'Дипломат', 'Надежда' и 'Тонус', сорт СФНЦА РАН 'Томич', имеющие в родословной сорт 'Viking'. Сорт селекции ОП НИИЛ 'Полет' происходит от французской линии 82Сх15. Можно предположить, что сорта Института льна (Беларусь) 'Грант' и 'Веста' в этом кластере оказались по причине их родственности с одним из исследованных сортов. Генетические паспорта кластера представлены в таблице 5.

Кластер С, представленный на рисунке 4, является самой большой и интересной группой исследованных сортов. В него входят девять смешанных групп, в основном разделившихся по оригинатору.

Генетические паспорта кластера С представлены в таблице 6.

Таблица 4. Генетические паспорта сортов льна-долгунца кластера А

Table 4. Genetic certificates of fiber flax cultivars in the A cluster

Группа / Group	Сорт / Cultivar	Генетический паспорт / Genetic certificate
A1	Бирюза	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₁₉₄ D ₃₁₂ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₇₉ H _{117,153} I ₂₉₂ J _{254,267} K _{171,179}
	ВНИИМК 620	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₁₉₄ D ₃₁₂ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₇₉ H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{254,267} K _{173,179}
	ВНИИМК 620 ФН	A _{323,330} B _{425,437} C ₁₉₄ D ₃₁₂ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₇₉ H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{254,267} K _{173,179}
	РФН	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{194,216} D ₃₁₂ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₇₉ H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{254,267} K _{173,179}
	Даник	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₁₉₄ D ₃₁₂ E ₄₁₉ F _{164,192} G _{379,388} H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{254,270} K ₁₇₉
	ВНИИМК 630	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₁₅ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₇₉ H _{117,149} I ₂₉₂ J _{254,267} K _{167,173}
	Флиз	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{194,216} D ₃₁₅ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₇₉ H ₁₁₇ I ₂₉₂ J _{254,267} K _{173,179}
	Светлячок	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₁₅ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₇₉ H _{117,153} I ₂₈₉ J _{254,267} K _{165,173}
	Ручеек	A _{323,330} B _{425,437} C _{194,216} D ₃₀₇ E _{406,419} F _{164,192} G _{379,388} H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{264,267} K _{167,179}
	Август	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₁₉₄ D ₃₁₂ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₇₉ H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{254,267} K _{173,179}

Таблица 4. Окончание
Table 4. The end

Группа / Group	Сорт / Cultivar	Генетический паспорт / Genetic certificate
A2	Исилькульский	A ₃₂₃ B _{425,434} C _{194,216} D ₃₀₇ E _{406,419} F _{164,192} G ₃₈₁ H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{234,246} K _{173,181}
	Чибис	A ₃₂₃ B _{425,434} C _{194,216} D ₃₀₇ E _{406,419} F _{164,192} G ₃₈₁ H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{246,264} K _{167,173}
	Северный	A ₃₂₃ B _{425,434} C _{194,216} D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₈₈ H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{246,261} K _{173,179}
	Илим	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,192} G _{379,381} H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{246,267} K _{173,179}
	Уральский	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{194,216} D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,192} G _{379,381} H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{246,264} K _{165,179}
	Кинельский 2000	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₈₁ H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{246,264} K _{165,173}
	Радуга	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{194,216} D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,195} G _{379,381} H _{117,153} I ₂₉₂ J _{257,270} K _{173,179}
	Небесный	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{207,216} D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,195} G _{381,388} H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{257,270} K _{165,179}
	Сокол	A ₃₂₃ B _{425,434} C _{207,216} D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,195} G _{381,388} H _{117,153} I ₂₉₂ J _{261,270} K _{173,179}
	Исток	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{207,216} D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₈₁ H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{251,264} K _{163,173}
	ЛМ 98	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{207,216} D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₈₁ H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{251,264} K _{163,179}
	Ы 117	A _{323,330} B _{425,437} C _{207,216} D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,192} G _{381,388} H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{251,264} K _{167,173}
	Август	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{207,216} D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₈₁ H ₁₅₃ I _{289,292} J _{246,264} K _{171,179}
	Нилин	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,192} G _{379,381} H _{146,153} I _{289,292} J _{264,267} K _{173,179}

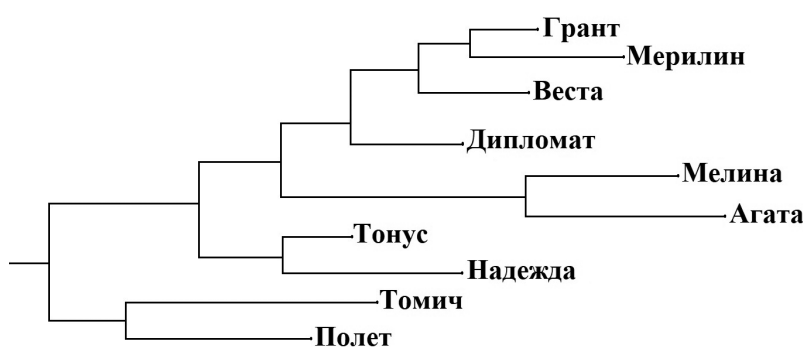


Рис. 3. Дендрограмма генетического подобия сортов льна-долгунца кластера В
Fig. 3. Dendrogram of the genetic similarity among fiber flax cultivars in the B cluster

Таблица 5. Генетические паспорта сортов льна-долгунца кластера В
Table 5. Genetic certificates of fiber flax cultivars in the B cluster

Сорт / Cultivar	Генетический паспорт / Genetic certificate
Грант	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,186} G ₃₇₉ H ₁₅₃ I _{289,292} J _{251,264} K _{173,183}
Мерилин	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,186} G ₃₇₉ H ₁₅₃ I _{289,292} J _{246,264} K _{173,183}
Веста	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{207,216} D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,186} G ₃₇₉ H ₁₅₃ I _{289,292} J _{251,264} K _{173,183}
Дипломат	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,186} G ₃₇₉ H ₁₅₃ I _{289,292} J _{251,264} K _{173,181}
Мелина	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,186} G ₃₇₉ H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{251,264} K _{182,183}
Агата	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₁₅ E ₄₁₉ F _{164,186} G ₃₇₉ H ₁₅₃ I ₂₉₂ J _{251,264} K ₁₇₃
Тонус	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E _{406,419} F _{164,186} G ₃₇₉ H ₁₅₃ I ₂₈₉ J _{251,264} K _{171,179}
Надежда	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,186} G ₃₇₉ H ₁₅₃ I ₂₈₉ J _{251,264} K ₁₇₉
Томич	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E _{406,419} F _{164,186} G _{379,388} H ₁₅₃ I _{289,292} J _{234,246} K _{171,179}
Полет	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D _{307,315} E _{406,419} F _{164,186} G _{379,388} H ₁₅₃ I _{289,292} J _{251,264} K _{173,179}

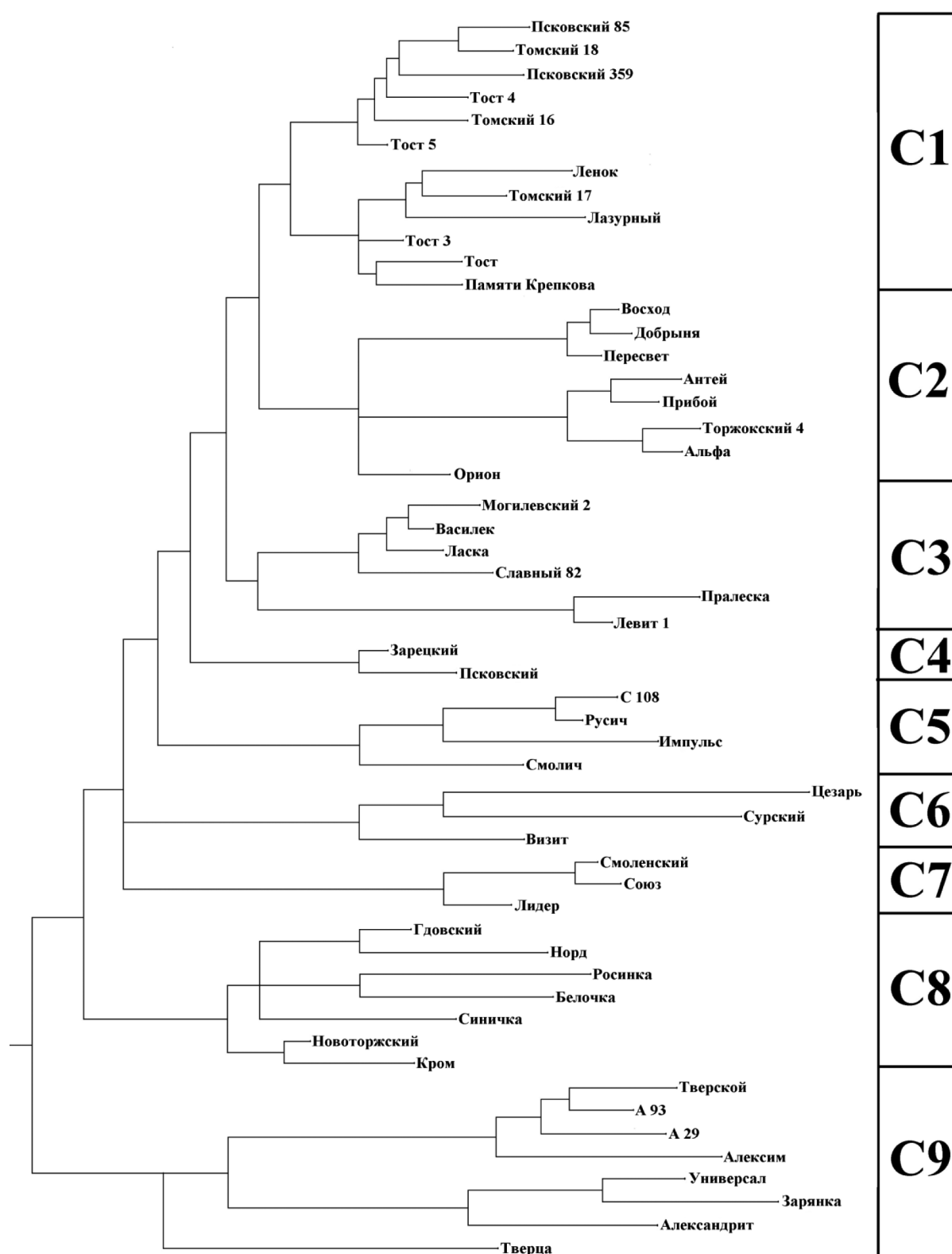


Рис. 4. Дендрограмма генетического подобия сортов льна-долгунца кластера C
Fig. 4. Dendrogram of the genetic similarity among fiber flax cultivars in the C cluster

Таблица 6. Генетические паспорта сортов льна-долгунца кластера C

Table 6. Genetics certificates of fiber flax cultivars in the C cluster

Группа / Group	Сорт / Cultivar	Генетический паспорт / Genetic certificate
C1	Псковский 85	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{173,175}$
	Томский 18	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{165,173}$
	Псковский 359	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{173,181}$
	Тост 4	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{173,183}$
	Томский 16	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{171,173}$
	Тост 5	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{173,179}$
	Ленок	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289,295}J_{251,264}K_{171,181}$
	Томский 17	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289,295}J_{251,264}K_{171,179}$
	Лазурный	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289,295}J_{251,264}K_{179}$
	Тост 3	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{171,179}$
	Тост	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{171,181}$
	Памяти Крепкова	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{171,183}$
C2	Восход	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307,315}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{179}$
	Добрыня	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307,315}E_{406}F_{164,192}G_{379,388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{179}$
	Пересвет	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307,315}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{179,181}$
	Антей	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{315}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{179}$
	Прибой	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{315}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{173,179}$
	Торжокский 4	$A_{323}B_{425,437}C_{207,216}D_{315}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{171,179}$
	Альфа	$A_{323}B_{425,437}C_{207,216}D_{315}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{173,179}$
	Орион	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307,315}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{173,179}$
C3	Могилевский 2	$A_{323}B_{425,437}C_{207,216}D_{307}E_{406,419}F_{164,186}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{173,183}$
	Василек	$A_{323}B_{425,437}C_{207,216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{173,183}$
	Ласка	$A_{323}B_{425,437}C_{207,216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{167,173}$
	Славный 82	$A_{323}B_{425,437}C_{207,216}D_{307,315}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289,295}J_{251,264}K_{173,183}$
	Пралеска	$A_{323}B_{425,437}C_{207}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{246,258}K_{173,179}$
	Левит 1	$A_{323}B_{425,437}C_{207}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{179}$
C4	Зарецкий	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147,153}I_{289,292}J_{251,264}K_{171,183}$
	Псковский	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147,156}I_{289,292}J_{251,264}K_{175,179}$
C5	С 108	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{381}H_{147,150}I_{289}J_{251,264}K_{167,173}$
	Русич	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{381}H_{147}I_{289}J_{251,264}K_{167,173}$
	Импульс	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{381}H_{150}I_{289}J_{251,264}K_{179}$
	Смолич	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{381}H_{147}I_{289,292}J_{251,264}K_{171,179}$
C6	Цезарь	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{315}E_{406}F_{164,186}G_{381}H_{147}I_{295}J_{251,264}K_{167,173}$
	Сурский	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{315}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{153}I_{295}J_{251,264}K_{173,179}$
	Визит	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{307}E_{406}F_{164,192}G_{388}H_{147}I_{295}J_{251,264}K_{173,179}$

Таблица 6. Окончание

Table 6. The end

Группа / Group	Сорт / Cultivar	Генетический паспорт / Genetic certificate
C7	Смоленский	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₀₆ F _{164,192} G _{381,388} H _{147,150} I _{289,292} J _{246,264} K _{179,183}
	Союз	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₀₆ F _{164,192} G _{381,388} H _{147,150} I _{289,292} J _{246,264} K ₁₇₉
	Лидер	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₀₆ F _{164,192} G _{381,388} H _{147,150} I _{289,292} J _{246,264} K _{173,183}
C8	Гдовский	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₈₈ H _{147,150} I ₂₈₉ J _{246,264} K _{171,173}
	Норд	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₈₈ H ₁₄₇ I ₂₈₉ J _{234,246} K _{167,173}
	Росинка	A ₃₂₃ B _{425,434} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₈₈ H ₁₄₇ I _{289,292} J _{261,264} K _{167,173}
	Белочка	A ₃₂₃ B _{425,434} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₈₈ H ₁₄₇ I ₂₈₉ J _{261,264} K _{173,179}
	Синичка	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,186} G ₃₈₈ H ₁₄₇ I ₂₈₉ J _{251,264} K _{167,173}
	Новоторжский	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₈₈ H ₁₄₇ I ₂₈₉ J _{251,264} K _{173,179}
	Кром	A ₃₂₃ B _{425,437} C ₂₁₆ D ₃₀₇ E ₄₁₉ F _{164,192} G ₃₈₈ H ₁₄₇ I ₂₈₉ J _{251,264} K _{171,179}
C9	Тверской	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{207,216} D ₃₀₇ E ₄₀₆ F _{164,192} G ₃₈₈ H _{147,153} I _{289,292} J _{246,264} K _{167,173}
	А 93	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{207,216} D ₃₀₇ E ₄₀₆ F _{164,192} G ₃₈₈ H _{147,153} I _{289,292} J _{251,264} K _{167,173}
	А 29	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{207,216} D ₃₀₇ E ₄₀₆ F _{164,192} G ₃₈₈ H _{147,153} I _{289,292} J _{251,264} K _{173,183}
	Алексим	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{207,216} D ₃₀₇ E ₄₀₆ F _{164,192} G ₃₈₈ H _{147,153} I _{289,292} J _{258,264} K _{173,179}
	Универсал	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{207,216} D _{307,315} E _{406,419} F _{164,192} G ₃₈₈ H _{147,153} I _{289,292} J _{246,264} K _{173,179}
	Зарянка	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{207,216} D _{307,315} E _{406,419} F _{164,192} G ₃₈₈ H _{147,153} I _{289,292} J _{246,264} K _{173,183}
	Александрит	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{207,216} D ₃₀₇ E _{406,419} F _{164,192} G ₃₈₈ H _{147,153} I _{289,292} J _{251,264} K _{173,183}
	Тверца	A ₃₂₃ B _{425,437} C _{207,216} D ₃₀₇ E _{406,419} F _{164,192} G _{381,388} H ₁₄₇ I _{289,292} J _{251,264} K _{173,179}

Группа C1 представляет собой подкластер, в который вошли сорта селекции СФНЦ РАН, ОП Псковского НИИСХ и ОП НИИЛ. Кластеризация сортов СФНЦ РАН и ОП Псковского НИИСХ подтверждается анализом родословных, указывающих на использование при их создании стародавних сортов псковского происхождения (Ророва, Michkina, 2017). Сорт 'Ленок' имеет в родословной и сорт 'Лазурный', и образец псковского стародавнего сорта. В эту группу входят как достаточно старые сорта, так и относительно недавно созданные.

Группа C2 состоит из сортов ОП Псковского НИИСХ селекции 2000–2010 гг. Сорта 'Восход', 'Пересвет', 'Антей', 'Прибой' и 'Орион' имеют в родословной тверской сорт 'А 29' в различных комбинациях. Сорт 'Добрыня' имеет общность в родословной с сортом 'Восход'. Сорта ОП НИИЛ 'Торжокский 4' и 'Альфа', вошедшие в эту группу, имеют в генеалогии сорта ОП Псковского НИИСХ.

Группа C3 объединяет современные белорусские сорта Института льна 'Василек', 'Ласка', 'Пралеска', 'Левит' и 'Могилевский 2'.

Два образца, представленные стародавними сортами-кряжами 'Зарецкий' и 'Псковский', образовали группу C4. Расположение этих сортов – в середине кластера средне-русских льнов-долгунцов.

Сорта селекции ОП Смоленского НИИСХ образовали две группы: C5 и C7.

Новые сорта селекции ОП НИИЛ вошли в группу C6. Сорта 'Визит', 'Сурский' и 'Цезарь' получены методом индивидуального отбора из различных образцов линии AP.

Группа C8 объединила сорта с различным географическим происхождением: кряж Гдовский, сорта ОП Псков-

ского НИИСХ 'Норд' и 'Кром', сорта селекции ВСХА 'Белочка' и 'Синичка', сорт ОП НИИЛ 'Росинка'.

Последняя группа C9 достаточно выразительно отделена от остальных исследованных долговцев и представляет собой классическую родственную связку сортов одного селекционного центра. В сортах этой группы селекции НИИЛ отмечается использование образцов вологодского происхождения.

Выводы

Молекулярно-генетическое разнообразие сортов льна из списка Госсорткомиссии, выявленное с использованием SSR-маркеров, показало четкую границу между сортами льна масличного и льна-долгунца. Кластерный анализ обнаружил наличие родственных связей между сортами, созданными пространственно и временно отдаленными исследовательскими группами. Полученные данные кластерного анализа согласуются с генеалогическими характеристиками сортов, что указывает на объективность полученных результатов и возможность использования данных ДНК-маркеров в процессе выбора форм для скрещивания (пребридинговый этап). Выбранная система маркеров позволила составить молекулярно-генетические формулы – «генетические паспорта» изученных сортов. Полученные результаты могут быть использованы для начальных этапов формирования генетической паспортизации отечественных сортов масличного и прядильного льна.

Дальнейшие исследования в этом направлении, улучшение и использование методов SSR-маркирования поз-

волят адаптировать маркер-ассоциированную селекцию для культуры льна, провести полную генетическую паспортизацию всех сортов льна, включенных в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации, ускорить и повысить эффективность селекционного процесса, обеспечить контроль семеноводства и защиту авторских прав селекционеров.

References / Литература

- Chesnokov Yu.V. Genetic markers: comparative classification of molecular markers. *Vegetable Crops of Russia*. 2018;(3):11-15. [in Russian] [Чесноков Ю.В. Генетические маркеры: сравнительная классификация молекулярных маркеров. *Овощи России*. 2018;(3):11-15]. DOI: 10.18619/2072-9146-2018-3-11-15
- Cullis C.A. (ed.). *Genetics and genomics of Linum*. 23rd ed. Cham: Springer Nature Switzerland; 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-23964-0
- El Sayed A., Ezzat S.M., Mostafa S., Zedan S., Abdel-Sattar E., El Tanbouly N. Inter simple sequence repeat analysis of genetic diversity and relationship in four Egyptian flax-seed genotypes. *Pharmacognosy Research*. 2018;10(2):166-172. DOI: 10.4103/pr.pr.126.17
- Hoque A., Fiedler J.D., Rahman M. Genetic diversity analysis of a flax (*Linum usitatissimum* L.) global collection. *BMC Genomics*. 2020;21(1):557. DOI: 10.1186/s12864-020-06922-2
- Jiang H., Pan G., Liu T., Chang L., Huang S., Tang H. et al. Development and application of novel InDel markers in flax (*Linum usitatissimum* L.) through whole-genome re-sequencing. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2022;69(4):1471-1483. DOI: 10.1007/s10722-021-01313-2
- Nag S., Mandal R., Mitra J. Exploration of genetic structure and association mapping for fibre quality traits in global flax (*Linum usitatissimum* L.) collections utilizing SSRs markers. *Plant Gene*. 2020;24:100256. DOI: 10.1016/j.plgene.2020.100256
- Nagabhushanam B., Mir M.I., Nagaraju M., Sujatha E., Devi B.R., Kumar B.K. Genetic diversity analysis of Linseed (*Linum usitatissimum* L.) accessions using RAPD Markers. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2021;33(7):589-599. DOI: 10.9755/efja.2021.v33.i7.2736
- Niyitanga S., Yang X., Guerriero G., Jin S., Qi J., Zhang L. et al. Editorial: Applied genetics of natural fiber plants. *Frontiers in Genetics*. 2021;12:647225. DOI: 10.3389/fgene.2021.647225
- Pan G., Chen A., Li J., Huang S., Tang H., Chang L. et al. Genome-wide development of simple sequence repeats database for flax (*Linum usitatissimum* L.) and its use for genetic diversity assessment. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2020;67(4):865-874. DOI: 10.1007/s10722-020-00882-y
- Petrushin V.V., Kudryakova S.A., Zolotova R.P. Results of test new of grades of long-fibred flax for conditions of the Kostroma region. *Modern High Technologies. Regional Appendix*. 2017;1(49):112-116. [in Russian] [Петрушин В.В., Кудрякова С.А., Золотова Р.П. Результаты испытания новых сортов льна-долгунца для условий Костромской области. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2017;1(49):112-116].
- Ponazhev V.P., Rozhmina T.A., Pavlova L.N. Problems of maintenance of the flax industry high-quality raw materials. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2014;(3):61-63. [in Russian] [Понажев В.П., Рожмина Т.А., Павлова Л.Н. Проблемы обеспечения льняной отрасли высококачественным льносырьем. *Достижения науки и техники АПК*. 2014;(3):61-63].
- Popova G.A., Michkina G.A. 80 years of Tomsk breeding and seed-growing of fibre flax. In: *Flax growing: current status and development potential. Proceedings of the Interregional Scientific and Practical Conference; July 04, 2017; Tomsk, Russia (Lnovodstvo: sovremennoye sostoyaniye i potentsial razvitiya. Materialy mezhregionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii; 04 iyulya 2017 g.; Tomsk, Rossiya)*. Tomsk: Grafika; 2017. p.10-15. [in Russian] [Попова Г.А., Мичкина Г.А. 80 лет Томской селекции и семеноводству льна-долгунца. В кн.: *Льноводство: современное состояние и потенциал развития. Материалы межрегиональной научно-практической конференции; 04 июля 2017 г.; Томск, Россия*. Томск: Графика; 2017. С.10-15].
- Porokhovina E.A., Shelenga T.V., Matveeva T.V., Pavlov A.V., Grigorieva E.A., Brutch N.B. Polymorphism of genes controlling low level of linolenic acid in lines from VIR flax genetic collection. *Ecological Genetics*. 2019;17(2):5-19. [in Russian] [Пороховина Е.А., Шеленга Т.В., Матвеева Т.В., Павлов А.В., Григорьева Е.А., Бруч Н.Б. Полиморфизм генов, контролирующих низкое содержание линоленовой кислоты, у линий генетической коллекции льна ВИР. *Экологическая генетика*. 2019; 17(2):5-19]. DOI: 10.17816/ecogen1725-19
- Saha D., Rana R.S., Das S., Datta S., Mitra J., Cloutier S.J. et al. Genome-wide regulatory gene-derived SSRs reveal genetic differentiation and population structure in fiber flax genotypes. *Journal of Applied Genetics*. 2019;60(1):13-25. DOI: 10.1007/s13353-018-0476-z
- Saitou N., Nei M. The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution*. 1987;4(4):406-425. DOI: 10.1093/oxford-journals.molbev.a040454
- Saroja A., Pal D., Kaur V., Kumar S., Bartwal A., Aravind J. et al. Agro-morphological variability and genetic diversity in linseed (*Linum usitatissimum* L.) germplasm accessions with emphasis on flowering and maturity time. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2022;69(1):315-333. DOI: 10.1007/s10722-021-01231-3
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow; Rosinformagrotekh; 2022. [in Russian] [Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2022]. URL: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2022/06/Реестр%20на%20допуск%202022.pdf> [дата обращения: 06.04.2022].
- Talebi S.M., Matsyura A. Genetic structure of some Iranian, New and Old Worlds *Linum usitatissimum* L. populations. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*. 2021;45(4):1143-1153. DOI: 10.1007/S40995-021-01074-8
- Traburova E.A., Konova A.M., Gavrilo A.Y., Zuyeva S.M., Chekhalkov S.M. Comparative characteristics of medium-maturing varieties of fiber-flax of Smolensk selection. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020;1(192):28-34. [in Russian] [Трабурова Е.А., Конова А.М., Гаврилова А.Ю., Зуева С.М., Чехалков С.М. Сравнительная характеристика среднеспелых сортов льна-долгунца смоленской селекции. *Аграрный вестник Урала*. 2020;1(192):28-34]. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-192-1-28-34
- You F.M., Cloutier S., Rashid K.Y., Duguid S. Flax (*Linum usitatissimum* L.) genomics and breeding In: J.M. Al-Khayri, S.M. Jain, D.V. Johnson (eds). *Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops*. Cham: Springer; 2019. p.277-317. DOI: 10.1007/978-3-030-23265-8_9

Информация об авторах

Тарас Александрович Базанов, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр лубяных культур, 170041 Россия, Тверь, Комсомольский пр., 17/56, t.bazanov@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9544-5528>

Игорь Валентинович Ущাপовский, кандидат биологических наук, доцент, заместитель директора по научной работе, Федеральный научный центр лубяных культур, 170041 Россия, Тверь, Комсомольский пр., 17/56, i.uschapovskv@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0602-1211>

Наталья Николаевна Логинова, научный сотрудник, Федеральный научный центр лубяных культур, 170041 Россия, Тверь, Комсомольский пр., 17/56, n.loginova@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4633-392X>

Екатерина Витальевна Смирнова, аспирант, младший научный сотрудник, Федеральный научный центр лубяных культур, 170041 Россия, Тверь, Комсомольский пр., 17/56, ev.smirnova@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6559-9577>

Полина Дмитриевна Михайлова, младший научный сотрудник, Федеральный научный центр лубяных культур, 170041 Россия, Тверь, Комсомольский пр., 17/56, p.mikhaylova@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7797-2578>

Information about the authors

Taras A. Bazanov, Cand. Sci. (Chemistry), Leading Researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 17/56 Komsomolsky Ave., Tver 170041, Russia, t.bazanov@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9544-5528>

Igor V. Uschapovsky, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Deputy Director for Research, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 17/56 Komsomolsky Ave., Tver 170041, Russia, i.uschapovskv@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0602-1211>

Natalya N. Loginova, Researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 17/56 Komsomolsky Ave., Tver, 170041, Russia, n.loginova@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4633-392X>

Ekaterina V. Smirnova, Postgraduate Student, Associate Researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 17/56 Komsomolsky Ave., Tver 170041, Russia, ev.smirnova@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6559-9577>

Polina D. Mikhailova, Associate Researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 17/56 Komsomolsky Ave., Tver 170041, Russia, p.mikhaylova@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7797-2578>

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 11.05.2022; одобрена после рецензирования 07.06.2022; принята к публикации 02.03.2023. The article was submitted on 11.05.2022; approved after reviewing on 07.06.2022; accepted for publication on 02.03.2023.

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

Научная статья

УДК 632.4:633.1

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-177-186



Анализ устойчивости к стеблевой ржавчине и идентификация Sr-генов у интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы

О. А. Баранова¹, С. Н. Сибикеев², Э. А. Конькова²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

²Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ольга Александровна Баранова, baranova_oa@mail.ru

Актуальность. В связи с увеличением вредоносности на территории Поволжья стеблевой ржавчины пшеницы (возбудитель – *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Erikss. & E. Henn.) и вероятностью заноса агрессивной расы Ug99 принципиальное значение приобретает оценка генетического разнообразия селекционного материала пшеницы и идентификация эффективных Sr-генов.

Материалы и методы. В работе анализировали 90 интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы селекции Федерального аграрного научного центра Юго-Востока, устойчивых к *P. graminis* f. sp. *tritici*. Для выявления генов устойчивости Sr24/Lr24, Sr25/Lr19, Sr26, Sr28, Sr31/Lr26, Sr32, Sr36, Sr38/Lr37, Sr39 и Sr57/Lr34 использовали молекулярные маркеры. Устойчивость растений анализировали по стандартным методикам, тип реакции определяли по шкале Стекмана.

Результаты. У селекционных линий яровой мягкой пшеницы идентифицированы гены Sr31/Lr26, Sr25/Lr19, Sr57/Lr34, Sr38/Lr37 и Sr39/Lr35. Ген Sr25 выявлен у 51 линии (56,7% изученных образцов), Sr31 – у 41 линии (45,6%), Sr57/Lr34 – у 5 линий, Sr38 – у 10 линий и Sr39 – у одной линии. Идентифицированы комбинации генов устойчивости: Sr31+Sr25 – у 28 линий (31,1%), Sr25+Sr38 – у 5 линий и Sr25+Sr39 – у одной линии. Гены Sr24/Lr24, Sr26, Sr28, Sr32 и Sr36 не выявлены.

Заключение. Выделены высокоустойчивые к *P. graminis* f. sp. *tritici* линии яровой мягкой пшеницы с перспективными комбинациями генов Sr31+Sr25, Sr25+Sr38 и Sr25+Sr39, которые могут быть использованы в российских селекционных программах.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., селекционный материал, *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, гены устойчивости

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00172, <https://rscf.ru/project/22-26-00172/>.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Баранова О.А., Сибикеев С.Н., Конькова Э.А. Анализ устойчивости к стеблевой ржавчине и идентификация Sr-генов у интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):177-186. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-177-186

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-177-186

Analysis of resistance to stem rust and identification of *Sr* genes in introgressive lines of spring bread wheat

Olga A. Baranova¹, Sergey N. Sibikeev², Elmira A. Konkova²

¹ All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

² Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia

Corresponding author: Olga A. Baranova, baranova_oa@mail.ru

Background. Due to the increase in the harmfulness of wheat stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Erikss. & E. Henn.) in the Volga region, and the likelihood of the spread of the aggressive Ug99 race, an assessment of the genetic diversity of wheat breeding lines and identification of effective *Sr* genes are of fundamental importance.

Materials and methods. Ninety spring bread wheat introgressive lines with stem rust resistance, developed at the Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, were analyzed. Molecular markers were used to identify resistance genes: *Sr24/Lr24*, *Sr25/Lr19*, *Sr26*, *Sr28*, *Sr31/Lr26*, *Sr32*, *Sr36*, *Sr38/Lr37*, *Sr39* and *Sr57/Lr34*. The analysis of plants for resistance was carried out according to standard methods; the Stakman scale was applied to determine the type of reaction.

Results. The genes *Sr31/Lr26*, *Sr25/Lr19*, *Sr57/Lr34*, *Sr38/Lr37* and *Sr39/Lr35* were identified in the analyzed breeding lines. *Sr25* was found in 51 lines (56.7% of samples), *Sr31* in 41 lines (45.6%), *Sr57/Lr34* in 5 lines, *Sr38* in 10 lines and *Sr39* in one line. Combinations of resistance genes were identified: *Sr31+Sr25* in 28 lines (31.1%), *Sr25+Sr38* in 5 lines, and *Sr25+Sr39* in one line. The *Sr24/Lr24*, *Sr26*, *Sr28*, *Sr32* and *Sr36* genes were not identified.

Conclusion. As a result, promising highly resistant introgressive wheat lines with promising combinations of *Sr31+Sr25*, *Sr25+Sr38* and *Sr25+Sr39* genes were identified. They can be used in Russian breeding programs for immunity.

Keywords: *Triticum aestivum* L., wheat breeding material, *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, resistance genes

Acknowledgments: the study was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 22-26-00172, <https://rscf.ru/project/22-26-00172/>.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Baranova O.A., Sibikeev S.N., Konkova E.A. Analysis of resistance to stem rust and identification of *Sr* genes in introgressive lines of spring bread wheat. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):177-186. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-177-186

Введение

Биотрофный гриб *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Erikss. & E. Henn. (*Pgt*) является возбудителем наиболее вредоносного заболевания пшеницы – стеблевой ржавчины. Потери урожая при эпифитотийном развитии болезни на восприимчивых сортах могут достигать 50–100% (Ashagre, 2022). В Уганде в 1999 г. было впервые зарегистрировано поражение новой расой *P. graminis* f. sp. *tritici*, названной Ug99, сортов с геном *Sr31* (Pretorius et al., 2000). Раса Ug99 впоследствии распространилась соответственно розе ветров по Африканскому континенту до Ирана и Пакистана.

Позднее появились разновидности расы Ug99, поражающие также сорта с генами устойчивости *Sr24* (TTKST) и *Sr36* (TTTSK); к 2020 г. насчитывалось уже 15 биотипов патогена (https://rusttracker.cimmyt.org/?page_id=22). Есть вероятность заноса угандийской расы стеблевой ржавчины на территорию Российской Федерации через страны Центральной Азии и Ближнего Востока. С другой стороны, в странах Евразийского континента, в том числе и в России, с 2016 г. отмечается усиление вредоносности этого патогена. Появились не относящиеся к линейке Ug99 агрессивные расы гриба, вызвавшие сильнее эпифитотии патогена как в странах Европы, так и в России, особенно в Западной Сибири и Поволжье (Lewis et al., 2018; Vasilova et al., 2017; Baranova et al., 2019; Patpour et al., 2022).

К сожалению, генетическое разнообразие отечественных сортов пшеницы по генам устойчивости к стеблевой ржавчине крайне низко. В основном это гены *Sr25* и *Sr31*, которые пока сохраняют эффективность. Таким образом, расширение генетической основы сортов, получение разнообразного по генам устойчивости селекционного материала чрезвычайно актуально. Проблема успешно решается при использовании в селекции новых генов устойчивости, интрогрессированных от родственных видов пшеницы и представителей родов *Aegilops* L., *Secale* L. и *Agropyron* Gaertn. В связи с увеличением вредоносности патогена и острой потребностью в устойчивых сортах отечественной селекции необходимы анализ генетического разнообразия селекционных линий пшеницы и идентификация *Sr*-генов, эффективных как против российских популяций гриба, так и против расы Ug99.

Таким образом, целью нашей работы была идентификация эффективных *Sr*-генов у устойчивых к *P. graminis* f. sp. *tritici* интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы селекции Федерального аграрного научного центра Юго-Востока (ФАНЦ Юго-Востока) с использованием молекулярных маркеров.

Материалы и методы

В работе использовали селекционный материал ФАНЦ Юго-Востока (90 интрогрессивных линий) и 6 сортов, возделываемых на территории Поволжья и участвующих в родословных анализируемых линий. Все линии получены с участием интрогрессивного генетического материала от *Triticum durum* Desf., *T. dicoccum* Schrank ex Schuebl., *T. carthlicum* Nevski (syn. *T. persicum* Vav.), *T. timopheevii* Zhuk., *Aegilops tauschii* Coss., *Ae. speltoides* Tausch, *Agropyron elongatum* (Host) Beauv., *Secale cereale* L.

Для инокуляции в лабораторных условиях использовали популяции возбудителя стеблевой ржавчины, собранные в 2022 г. в Арском районе Республики Татарстан (с сорта 'Надира') и в Самойловском районе Саратовской

области (с сорта 'Воевода'). Размножение популяций стеблевой ржавчины и анализ устойчивости растений в стадии проростков проводили по принятым методикам (Jin et al., 2007). Учет типов реакции проводили на 12 суток после заражения проростков суспензией урединиоспор *Pgt* (концентрация суспензии 1 мг урединиоспор гриба на 1 мл воды с Твин 20) по 4-балльной шкале Е. С. Stakman (Stakman et al., 1962). Устойчивость или восприимчивость линии определяли по типам реакции: устойчивость – типы реакции «0», «0»; «1», «2»; восприимчивость – «3», «4», «X». Знаками «+» и «–» после значения типа реакции отмечали больший или меньший размер урединиопустул. Эксперименты проводили в двух повторностях. В полевых условиях на естественном инфекционном фоне устойчивость взрослых растений оценивали по шкале СИММИТ (Roelfs et al., 1992), где «S» – восприимчивость, «MS» – средняя восприимчивость, «MR» – средняя устойчивость, а «R» – устойчивость. Линии оценивали на экспериментальном участке ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов). Так как в 2022 г. из-за слабого развития патогена линии не были оценены, в статье приводятся данные полевой оценки 2021 г.

ДНК выделяли из 5-дневных проростков пшеницы СТАВ-методом (Murray, Thompson, 1980). Для идентификации генов устойчивости (*Sr24*, *Sr25*, *Sr26*, *Sr28*, *Sr31*, *Sr36*, *Sr38*, *Sr39* и *Sr57*) использовали ДНК-маркеры, которые применяют в маркер-ориентированной селекции (MAS): ген *Sr24/Lr24* – маркеры *Sr24#12*, *Sr24#50* (Mago et al., 2005); *Sr25/Lr19* – Gb (Prins et al., 2001); *Sr26* – *Sr26#43* (Mago et al., 2005); *Sr28* – wPt-7004-PCR, Xwmc332 (Rouse et al., 2012); *Sr31/Lr26* – SCM9 (Weng et al., 2007); *Sr36* – Xstm773-2 (Tsilo et al., 2008); *Sr38/Lr37* – VENTRIUP-LN2 (Helguera et al., 2003); *Sr39/Lr35* – *Sr39#22* (Mago et al., 2009); *Sr57/Lr34* – csLV34 (Lagudah et al., 2006). ПЦР проводили на термоциклере C1000 Thermal Cycler (BioRad) в двух повторностях. Положительным контролем в реакции были сорта и линии пшеницы с анализируемыми *Sr*-генами, негативным контролем – восприимчивый сорт пшеницы 'Хакасская', контролем на контаминацию – ПЦР-смесь без добавления ДНК. Разделение продуктов амплификации проводили в агарозных гелях (2%), окрашенных этидием бромидом. В качестве маркера молекулярного веса использовали GeneRuler™ 50bp DNA Ladder «Fementas». Электрофореграммы визуализировали с помощью гель-документирующей системы ChemiDoc XRS+ (Bio-Rad).

Результаты

По результатам полевой оценки в 2021 г. на естественном инфекционном фоне все анализируемые линии были устойчивы к саратовской популяции патогена.

При оценке в лабораторных условиях большинство линий было устойчиво (рис. 1), лишь 4 линии из 90 оказались восприимчивыми к популяциям стеблевой ржавчины, собранных с сортов 'Надира' и 'Воевода'. К татарстанской популяции с сорта 'Надира' были восприимчивы 12 линий, одна из которых гетерогенна по устойчивости, к саратовской популяции с сорта 'Воевода' восприимчивы 11 линий пшеницы.

В таблице 1 приведены результаты полевой и лабораторной оценки сортов яровой мягкой пшеницы, которые широко возделываются на территории Поволжья и участвуют в родословных интрогрессивных линий.

Лишь сорт 'Юго-Восточная 2' с геном *Sr31* устойчив как в поле на стадии взрослых растений, так и в лабора-

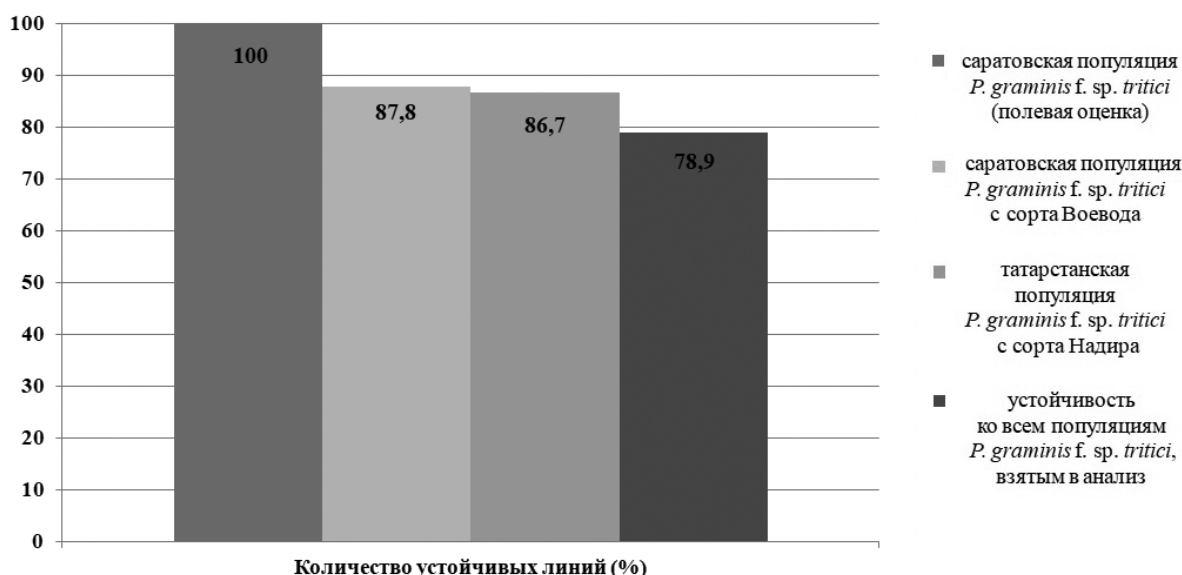


Рис. 1. Устойчивость линий яровой мягкой пшеницы к популяциям возбудителя стеблевой ржавчины

Fig. 1. Resistance of spring bread wheat lines to stem rust pathogen populations

Таблица 1. Устойчивость сортов яровой мягкой пшеницы к стеблевой ржавчине

Table 1. Resistance of spring bread wheat cultivars to stem rust

Сорт / Cultivar	Устойчивость к популяциям <i>Pgt</i> / Resistance to <i>Pgt</i> populations		
	Полевая оценка / Field evaluation	Лабораторная оценка проростков / Laboratory evaluation at the seedling stage	
	Саратовская популяция 2021 г. / Saratov population	Татарстанская популяция (с сорта 'Надира') 2022 г. / Tatarstan population (from cv. 'Nadira')	Саратовская популяция (с сорта 'Воевода') 2022 г. / Saratov population (from cv. 'Voevoda')
Саратовская 29	S	3	3
Саратовская 68	S	2	3++
Саратовская 74	S	3	3
Добрыня (Sr25)	MR	3+	3+
Юго-Восточная 2 (Sr31)	R	1	2
Фаворит (Sr6Agi)	S	1	3
Могоссо (восприимчивый контроль) при лабораторной оценке устойчивости	–	4	4

Примечание: расшифровка обозначений S, MR, R, +, – приведена в разделе «Материалы и методы»

Note: the abbreviations/symbols S, MR, R, + and – are explained in the *Materials and methods* section

торных условиях на стадии проростков (см. табл. 1). Сорта 'Саратовская 29' и 'Саратовская 74' восприимчивы ко всем популяциям гриба. Сорт 'Добрыня' (Sr25) среднеустойчив в поле, однако сильно поражен в лабораторных условиях. Сорт 'Саратовская 68' поражен как в поле, так и на стадии проростков популяцией гриба с сорта 'Воевода', однако среднеустойчив к татарстанской популяции патогена. Устойчив к этой популяции гриба

сорт 'Фаворит' (Sr6Agi), который сильно поражен и в поле, и в лаборатории саратовскими популяциями *Pgt*. Возможно, что ген *Sr6Agi* сохраняет свою эффективность на территории Татарстана.

Результаты, полученные при идентификации *Sr*-генов у анализируемых линий, представлены в таблице 2, где приведены только те линии, у которых были идентифицированы гены устойчивости.

Таблица 2. Анализ устойчивости к стеблевой ржавчине и идентификация *Sr*-генов у линий пшеницы**Table 2.** Analysis of stem rust resistance and identification of *Sr* genes in wheat lines

Родословная / Pedigree	Устойчивость к <i>Pgt</i> / Resistance to <i>Pgt</i>			Идентифицированные <i>Sr</i> -гены / Identified <i>Sr</i> genes				
	I*	II	III	<i>Sr31</i>	<i>Sr25</i>	<i>Sr57</i>	<i>Sr38</i>	<i>Sr39</i>
Croc/Ae.squar(205)//Weaver/3/Л505/4/Бел/5/Фав	MR	4	4	—**	+	—	—	—
Ю-В-2/Л505//Л503 <i>Lr26</i> /3/Л505/4/С68	R	0;	1	+	+	—	—	—
Л505 /3/Croc/Ae.squar(205)//Weaver/4/Л505/5/С68	R	0;	1	+	+	—	—	—
Целинная20/*2 Добр//Реванш	R,MR	0;	1	+	+	—	—	—
С55/Ag. el *5// С29 (т? Ag ^e -7D)/3/Добр <i>Lr9</i>	MR	0;	1+	—	+	—	—	—
С55//Добр/Л164//Agr139/Л528*2//AdT.dic-s/ Ae.spelt*5 С29//Добр	R,MR	1	0;	—	+	—	—	+
Л164/Ю-В-2// Добр	R	0;	0;	+	+	—	—	—
Ю-В-2/Бел//Добр 4	R	0	1	+	—	—	—	—
Л505*3//Прох/3/Бел	R,MR	1	1	+	+	—	—	—
С42/4/Л505/Прох//Л505/3/Л2032	R,MR	0;	0;	+	+	—	—	—
Л505*2/Л164//*2 Прох	R	0;	2++	+	+	—	—	—
Л505/Л164/4/Л503//Трап#1/Bow/3/Л503/5/Л505	MR	1	0;	+	—	—	—	—
Добр/3/Altar84/ Ae.squar(224)//Pgo/4/Добр	R,MR	1	2	—	+	—	—	—
Л505*4/Прох	R,MR	0;	1	+	+	—	—	—
С66/Ник//Л505	R,MR	0;	2	—	+	—	—	—
ЮВ2/Л505/Л503*4/TcLr26	R	0;	1	+	+	—	—	—
Л505*3//Л2075/Л503	R	0;	1	+	+	—	—	—
Добр//Agro139/С29(1В)20"ЛrAgr//С29	R,MR	2	0;	—	+	—	—	—
Л III (С29/Л196 (T.dicocum))	R,MR	0	2=	—	+	—	—	—
Л XI С29 им / Л2870	MR	2	3	—	+	—	—	—
С70/ Thatcher <i>Lr 37</i> //С70/3/Добр	R	0;	22+	—	—	—	—	+
Добр/ Trident//Добр/3/Добр	R	0	2	—	+	—	+	—
Бел/AvS Yr26	MR	1	0;	—	—	+	—	—
Грекум С2193/ Milan/Prinia//*4Добр	R	3	2++	—	—	—	+	—
Мульти 6R/ Добр <i>Lr24</i> //С68	R	2	2	—	+	—	—	—
С68/Л484// Milan/Prinia//*4Добр	R	2	3	—	—	—	+	—
Добрыня/Yalta//Добрыня	R,MR	0	2	—	+	—	—	—
Добрыня/Yalta//Добрыня	R	2+	1	—	+	—	—	—
Добр/Longmai 98-8906//Добр	R	2	2	—	+	—	—	—
С70/3/ PASTOR*2/SITTA/PBW343*2/KUKUNA	R	2	1	—	—	—	+	—
Л 2/10 /3/ С60//Л528/Беянка	MR	2	1	+	—	—	—	—
Л 2/10 / Фаворит	R	1	1	+	—	—	—	—

Таблица 2. Продолжение

Table 2. Continued

Родословная / Pedigree	Устойчивость к <i>Pgt</i> / Resistance to <i>Pgt</i>			Идентифицированные <i>Sr</i> -гены / Identified <i>Sr</i> genes				
	I*	II	III	Sr31	Sr25	Sr57	Sr38	Sr39
Л 2/10 / Добрыня	R,MR	1	1	+	+	-	-	-
Л 4/10 /3/ Л505//Л2032*2/Мульти Lr 6R	R	0;	1	+	-	-	-	-
Л 4/10 /3/ Л505//Л2032*2/Мульти Lr 6R	R	2	1	+	-	-	-	-
Добр/ <i>T.persicum</i> *4//Добр	R	0;1	2=,1	+	+	-	-	-
C70/3/ PASTOR/2*SITTA/PBW343*2/KUKUNA/4/C70	R,MR	1	0;	-	+	-	+	-
C70/3/ PASTOR/2*SITTA/PBW343*2/KUKUNA/4/C70	R	1	1	-	+	-	+	-
C68/ <i>T.kiharae</i> //C70/3/C68	R	0;	3	-	+	-	-	-
Л503/ Thatcher Lr36*4//Л503	R	0	1	-	+	-	-	-
C68/ <i>T.timopheevii</i> *4//Добр	R	3-2	1,2	-	+	-	+	+
Satu/C70//C70	R	2	3-	-	-	+	-	-
C68/ <i>Triticum dicoccum</i> k 13659	R	2	1	+	+	-	-	-
Добр/ <i>T.persicum</i> //Добр/3/Добр	R	1-	0;	-	+	-	+	-
C68/ Thatcher Lr28*3//C68 /3/ ЭритроспермумС 2231	R	0	0	-	-	+	-	-
Л VI C29 им /Л2032//Л2032/3/ Эрит С 2231	R	3	0;	-	-	-	-	+
C70/ Памяти Майстренко//C68	R	2+	0	-	-	-	-	+
C70/ Памяти Майстренко//C68	R	3	2++	-	-	-	-	+
C70/ Памяти Майстренко//Добрыня	R	0	0;	-	+	-	-	+
Добр/ ThatcherLr28*3//Добр	R	1+	1	+	+	-	-	-
Л 2/10/3/Л505//Л2032*2/МультиLr 6R/4/ Эрит С2231	R	2	2	+	-	-	-	-
Л 2/10/3/Л505//Л2032*2/МультиLr 6R/4/ Эрит С2231	R	2	0;	+	-	-	-	-
Добр/Зол.волна//Добр/3/Добр/4/Добр	R	2	0;	+	+	-	-	-
Л VI C29 им /Л2032//Л2032 /3/Л2032	MR	0;	2++	-	+	-	-	+
C68/ Ke lao 6	R	0;	0;	-	-	+	-	-
Фав / Ke lao 6	R	3	0	-	-	+	-	-
C68/ <i>Triticum dicoccum</i> k 13659//C68	R	1	1	+	+	-	-	-
Л503/ <i>Triticum dicoccum</i> k 10456//Л503	R	1	0;	-	+	-	-	-
Milan/Prinia//*4Добр/3/Фаворит/4/Фав	R	3-	3,3+	-	+	-	-	-
Milan/Prinia//*4Добр/3/Фаворит/4/ Л505/3/Croc/ Ae.squar(205)//Weaver/4/Л505/5/Л505	R	1	1	+	+	-	-	-
Milan/Prinia//*4Добр/3/Фаворит/4/ Л505/3/Croc/ Ae.squar(205)//Weaver/4/Л505/5/Л505	R	3	4	+	+	-	-	-

Таблица 2. Окончание

Table 2. The end

Родословная / Pedigree	Устойчивость к <i>Pgt</i> / Resistance to <i>Pgt</i>			Идентифицированные <i>Sr</i> -гены / Identified <i>Sr</i> genes				
	I*	II	III	<i>Sr31</i>	<i>Sr25</i>	<i>Sr57</i>	<i>Sr38</i>	<i>Sr39</i>
Milan/Prinia//*4Добр/3/Фаворит/4/ Л505/3/Croc/ Ae.squar(205)//Weaver/4/Л505/5/Л505	R	0;	1	+	+	–	–	–
Milan/Prinia//*4Добр/3/Фаворит/4/ Л505 /3/Croc/ Ae.squar(205)//Weaver/4/Л505/5/Л505	R	2	1+	+	+	–	–	–
Hei 730 / C68// Л505*2/Прох//Бел (Л452)/3/Л452	R	2	3–	+	–	–	–	–
Фаворит/Sr28	R	2	1	–	–	–	+	–
Фаворит/Sr28	R	0	3	–	–	–	+	–
Добр*6Аgi// Л505 /3/Croc/Ae.squar(205)// Weaver/4/Л505/5/Л505 (Л375/17)	R	3	1	+	+	–	–	–
Добр*6Аgi// Л505 3/Croc/Ae.squar(205)// Weaver/4/Л505/5/Л505 (Л375/17)	R	2+	1	+	+	–	–	–
Добр*6Аgi// Л505 /3/Croc/Ae.squar(205)// Weaver/4/Л505/5/Л505 (Л375/17)	R	1	0;	+	+	–	–	–
Добр*6Аgi// Л505 /3/Croc/Ae.squar(205)// Weaver/4/Л505/5/Л505 (Л375/17)	R	1	1	+	+	–	–	–
Добр*6Аgi// Л505 /3/Croc/Ae.squar(205)// Weaver/4/Л505/5/Л505 (Л375/17)	R	1	1	+	+	–	–	–
Добр*6Аgi// Л505*2/Прох//Бел (Л452)	R	0;	0;	+	+	–	–	–
Добр*6Аgi// Л505*2/Прох//Бел (Л452)	R	1	0;	+	–	–	–	–
Добр*6Аgi// Л505*2/Прох//Бел (Л452)	R	1	3	+	–	–	–	–
Добр*6Аgi// Л505*2/Прох//Бел (Л452)	R	0;	0;	+	–	–	–	–
Добр*6Аgi// Л505*2/Прох//Бел (Л452)	R	0;	0;	+	–	–	–	–
Добр/Зол.волна//Добр/3/Добр/4/Добр	R	0;	0;	+	+	–	–	–
Добр/Зол.волна//Добр/3/Добр/4/Добр	R	1	0;	+	+	–	–	–

Примечание: *I – полевая оценка устойчивости к саратовской популяции *Pgt* 2021 г.; II – лабораторная оценка устойчивости к татарстанской популяции *Pgt* с сорта 'Надира' 2022 г.; III – лабораторная оценка устойчивости к саратовской популяции *Pgt* с сорта 'Воевода' 2022 г.

** – указанные в колонках *Sr*-гены не были выявлены

Note: *I – field evaluation of resistance to the Saratov *Pgt* population in 2021; II – laboratory evaluation of resistance to the Tatarstan *Pgt* population from cv. 'Nadira' in 2022; III – laboratory evaluation of resistance to the Saratov *Pgt* population from cv. 'Voevoda' in 2022

** – the *Sr* genes indicated in the columns were not detected

Среди генов, эффективных к российским популяциям *Pgt*, но неэффективных к расе гриба Ug99, у линий был идентифицирован ген *Sr31*. Для идентификации *Sr31* в работе использовали маркер SCM9 (рис. 2), выявляющий пшенично-ржаную транслокацию 1RS.1BL. Эта транслокация несет ряд генов устойчивости к стеблевой, бурой и желтой ржавчинам, а также к мучнистой росе: *Sr31/Lr26/Yr9/Pm8*. Транслокация 1RS.1BL (ген *Sr31*) идентифицирована у 41 линии из 90 (45,6% образцов).

С использованием праймеров VENTRIUP-LN2 у 10 линий идентифицирован ген *Sr38*. У 51 линии с использованием рекомендованного для MAS маркера *Gb* идентифи-

цирован ген *Sr25* (56,7% линий), эффективный против расы Ug99 и ее биотипов. Ген *Sr28* идентифицировали с использованием двух маркеров: *wPt-7004-PCR* и *Xwmc 332*. При использовании *wPt-7004-PCR* диагностический фрагмент идентифицирован у 8 линий, а при использовании *Xwmc 332* – у 9 линий, однако результаты идентификации по обоим маркерам совпали только у контрольной линии – носителя *Sr28*, что свидетельствует об отсутствии данного гена в исследуемом материале. У пяти линий идентифицирован ген возрастной устойчивости *Sr57/Lr34* (маркер *csLV34*). Кроме того, у восьми линий с помощью маркера *Sr39#22* был предварительно идентифицирован ген *Sr39*, который интрогрессирован в мяг-

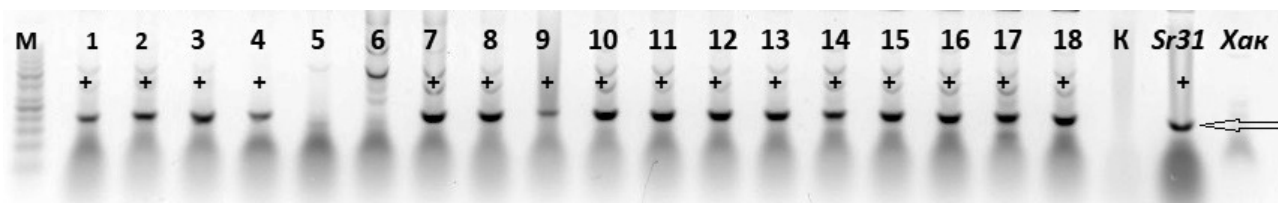


Рис. 2. Идентификация гена *Sr31* с использованием молекулярного маркера SCM9: *Sr31* – сорт ‘Аврора’, положительный контроль; Хак – сорт ‘Хакасская’, отрицательный контроль; №№ 1–18 (линии №№ 73–90); стрелка показывает диагностический фрагмент с молекулярным весом 207 п.о.

Fig. 2. Identification of the *Sr31* gene using the molecular marker SCM9: *Sr31* – cv. ‘Avrora’, positive control; Хак – cv. ‘Khakasskaya’, negative control; Nos. 1–18 (lines Nos. 73–90); the arrow indicates the diagnostic fragment with a molecular weight of 207 bp

кую пшеницу от *Aegilops speltoides* (Kerber, 1990). В то же время лишь у одной линии [C55//Добр/Л164//Agr139/Л528*2//AdT.dic-s/Ae.spelt*5 C29//Добр] в родословной присутствует *Ae. speltoides*, что свидетельствует о присутствии у нее гена *Sr39*. У этой линии идентифицирован также ген *Sr25*, и, вероятно, она содержит сочетание генов *Sr25*+*Sr39*. У исследованных интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы в основном были определены гены *Sr25* и *Sr31*. Комбинация генов *Sr31*+*Sr25* идентифицирована у 28 линий (31,1%), сочетание генов *Sr25*+*Sr38* выявлено у пяти линий. Гены *Sr24*/*Lr24*, *Sr26*, *Sr28*, *Sr32* и *Sr36* не обнаружены.

Обсуждение результатов

Как показали наши предыдущие исследования, гены *Sr25* и *Sr6Agi* потеряли свою эффективность на территории Нижнего Поволжья (Baranova et al., 2021). Сорта ‘Фаворит’ и ‘Воевода’ (с которых была собрана популяция гриба) в сильной степени поражались саратовской популяцией возбудителя стеблевой ржавчины (см. табл. 2). Сорт ‘Добрыня’ также восприимчив к саратовской и татарстанской популяциям патогена в лабораторных условиях и среднеустойчив в поле. Вместе с тем сорт ‘Фаворит’ устойчив к татарстанской популяции гриба. Возможно, что ген *Sr6Agi* еще эффективен на территории Татарстана, как и в Западной Сибири (Baranova et al., 2021). Селекционные линии пшеницы проявили высокую устойчивость как в полевых условиях, так и при лабораторной оценке ювенильной устойчивости. У части линий мы не идентифицировали известные гены устойчивости. Возможно, что они содержат неизвестные ранее гены, связанные с интрогрессиями генетического материала от диких видов пшеницы. У большинства устойчивых линий идентифицирован ген *Sr31* (транслокация 1RS.1BL). Ген *Sr31* выявлен у 41 линии из 90, что составляет 45,6% от общего числа изученных образцов. Четыре линии гетерогенны по транслокации 1RS.1BL, что объясняет их восприимчивость к возбудителю стеблевой ржавчины. Ген *Sr31* пока сохраняет эффективность на территории РФ.

По данным FAO (<http://www.fao.org/agriculture/crops/rust/stem-pathotyperacker/stem-effectivesrgenes/en>), эффективными к расе Ug99 и ее биотипам остаются гены *Sr28*, *Sr29*, *SrTmp* (*Triticum aestivum* L.), *Sr2*, *Sr13*, *Sr14* (*T. turgidum* L.), *Sr22*, *Sr35* (*T. monococcum* L.), *Sr37* (*T. timopheevii*), *Sr32*, *Sr39* (*Aegilops speltoides*), *Sr47*, *Sr33*, *Sr45* (*Ae. tauschii*), *Sr40* (*Triticum araraticum* Jakubz.), *Sr25*, *Sr26*, *Sr43* (*Agropyron elongatum*), *Sr44* (*A. intermedium* (Host) Beauv.), *Sr27* и 1A.1R (*Secale cereale*). Эффективна и пирамида из ювенильных генов *Sr22*, *Sr25* и *Sr26* с генами воз-

растной устойчивости *Sr57* и *Sr55* (<https://www.fao.org/3/i8388ru/i8388RU.pdf>).

Ген *Sr57* (*Lr34*/*Yr18*/*Pm38*/*Bdv1*) – локус с плейотропным действием, детерминирующий неспецифическую устойчивость к биотрофным патогенам, в том числе и к *Pgt* – идентифицирован у пяти линий пшеницы, из которых две были восприимчивы на стадии проростков, а три устойчивы. Можно предположить, что у устойчивых линий есть еще не идентифицированные гены устойчивости.

Ген устойчивости к стеблевой ржавчине *Sr25*, тесно сцепленный с геном *Lr19* (устойчивость к бурой ржавчине), интрогрессирован в мягкую пшеницу от пырея удлиненного (*Agropyron elongatum*). Этот ген идентифицирован у большинства изученных линий (56,7%). У 28 линий выявлено сочетание генов *Sr31*+*Sr25*, обеспечивающее защиту от местных популяций патогена (*Sr31*) и от расы Ug99 (*Sr25*). Что же касается *Sr39*, то это эффективный ген, локализованный в хромосоме 2S *Aegilops speltoides* и сцепленный с геном *Lr35*, детерминирующим устойчивость к бурой ржавчине. Несмотря на то что маркер *Sr39*#22, использованный для его идентификации, видимо, недостаточно специфичен, у линии [C55//Добр/Л164//Agr139/Л528*2//AdT.dic-s/Ae.spelt*5 C29//Добр] замещение 2S (2D) было подтверждено И. Г. Адониной (ИЦиГ) в рамках проекта РНФ № 22-26-00172 методом флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH), что делает предположение о наличии гена *Sr39* у данной линии достаточно обоснованным. У линий была выявлена комбинация генов *Sr38* и *Sr25*. Ген *Sr38* не эффективен против поволжских популяций патогена; *Sr25* также утратил свою эффективность. В то же время ранее было показано, что комбинация генов *Sr25*+*Sr38* эффективна в Курганской и Челябинской областях (Druzhin et al., 2018). Показано также, что сочетание потерявших эффективность против возбудителя бурой ржавчины генов *Lr19*/*Sr25* и *Lr37*/*Sr38*/*Yr17* у линий яровой мягкой пшеницы Л653 и Л654, с одной стороны, обусловило их высокую устойчивость к бурой ржавчине и, с другой стороны – к расе стеблевой ржавчины Ug99+*Sr24* (Sibikeev, Druzhin, 2015). В нашем исследовании четыре линии, несущие сочетание генов *Sr25*+*Sr38*, оказались устойчивыми ко всем популяциям *Pgt*, а одна была гетерогенна по устойчивости к татарстанской популяции гриба.

Заключение

В результате работы у селекционных линий яровой мягкой пшеницы идентифицированы гены *Sr31* (у 41 линии), *Sr25* (у 51 линии), *Sr57*(*Lr34*) (у 5 линий), *Sr38* (у 10 линий) и *Sr39* (у 1 линии).

Выделены высокоустойчивые к стеблевой ржавчине линии пшеницы с перспективными сочетаниями генов устойчивости: *Sr31+Sr25* – у 28 линий, *Sr25+Sr38* – у пяти линий и *Sr25+Sr39* – у одной линии. Данные линии могут быть использованы в селекционных программах, направленных на создание устойчивых к стеблевой ржавчине сортов пшеницы.

References / Литература

- Ashagre Z.A. Detection of wheat stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) physiological races from major wheat producing regions of Ethiopia. *Aquaculture and Fisheries Studies*. 2022;4(3):1-6. DOI: 10.31038/AFS.2022433
- Baranova O.A., Sibikeev S.N., Druzhin A.E. Molecular identification of the stem rust resistance genes in the introgression lines of spring bread wheat. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(3):296-303. DOI: 10.18699/VJ19.494
- Baranova O.A., Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Sozina I.D. Loss of effectiveness of stem rust resistance genes *Sr25* and *Sr6Agi* in the lower Volga region. *Plant Protection News*. 2021;104(2):105-112. [in Russian] (Баранова О.А., Сибикеев С.Н., Дружин А.Е., Созина И.Д. Потеря эффективности генов устойчивости к стеблевой ржавчине *Sr25* и *Sr6Agi* на территории Нижнего Поволжья. *Вестник защиты растений*. 2021;104(2):105-112). DOI: 10.31993/2308-6459-2021-104-2-14994
- Druzhin A.E., Sibikeev S.N., Vlasovets L.T., Golubeva T.D., Kalintseva T.V. The study of agronomic valuable and adaptive traits in a new cultivar of spring bread wheat Alexandrite produced by introgression breeding. *Advances in Current Natural Sciences*. 2018;(9):12-17. [in Russian] (Дружин А.Е. Сибикеев С.Н. Власовец Л.Т. Голубева Т.Д. Калинцева Т.В. Изучение хозяйственно ценных и адаптивных признаков у нового сорта яровой мягкой пшеницы Александрит, созданного методом интрогрессивной селекции. *Успехи современного естествознания*. 2018;(9):12-17). DOI: 10.17513/use.36859
- Generalized Protocol for Race Analysis – Seedling Assays. Available from: https://www.fao.org/fileadmin/templates/rust/img/race_analysis_web.pdf [accessed June 08, 2021].
- Helguera M., Khan I.A., Kolmer J., Lijavetzky D., Zhong-qi L., Dubcovsky J. PCR assays for the *Lr37-Yr17-Sr38* cluster of rust resistance genes and their use to develop isogenic hard red spring wheat lines. *Crop Science*. 2003;43(5):1839-1847. DOI: 10.2135/cropsci2003.1839
- Jin Y., Singh R.P., Ward R.W., Wanyera R., Kinyua M., Njau P. et al. Characterization of seedling infection types and adult plant infection responses of monogenic *Sr* gene lines to race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Plant Disease*. 2007;91(9):1096-1099. DOI: 10.1094/PDIS-91-9-1096
- Kerber E.R., Dyke P.L. Transfer to hexaploid wheat of linked genes for adult-plant leaf rust and seedling stem rust resistance from amphiploid of *Aegilops speltoides* × *Triticum monococcum*. *Genome*. 1990;33:530-537.
- Lagudah E.S., McFadden H., Singh R.P., Huerta-Espino J., Bariana H.S., Spielmeier W. Molecular genetic characterization of the *Lr34/Yr18* slow rusting resistance gene region in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2006;114(1):21-30. DOI: 10.1007/s00122-006-0406-z
- Lewis C.M., Persoons A., Bebb D.P., Kigathi R.N., Maintz J., Findlay K. et al. Potential for re-emergence of wheat stem rust in the United Kingdom. *Communications Biology*. 2018;1:13. DOI: 10.1038/s42003-018-0013-y
- Mago R., Bariana H.S., Dundas I.S., Spielmeier W., Lawrence G.J., Pryor A.J. et al. Development of PCR markers for the selection of wheat stem rust resistance genes *Sr24* and *Sr26* in diverse wheat germplasm. *Theoretical and Applied Genetics*. 2005;111(3):496-504. DOI: 10.1007/s00122-005-2039-z
- Mago R., Zhang P., Bariana H.S., Verlin D.C., Bansal U.K., Ellis J.G. et al. Development of wheat lines carrying stem rust resistance gene *Sr39* with reduced *Aegilops speltoides* chromatin and simple PCR markers for marker assisted selection. *Theoretical and Applied Genetics*. 2009;119(8):1441-1450. DOI: 10.1007/s00122-009-1146-7
- 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
- Patpour M., Hovmöller M.S., Rodriguez-Algaba J., Randazzo B., Villegas D., Shamanin V.P. et al. Wheat stem rust back in Europe: diversity, prevalence and impact on host resistance. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:882440. DOI: 10.3389/fpls.2022.882440
- Pretorius Z.A., Singh R.P., Wagoire W.W., Payne T.S. Detection of virulence to wheat stem rust resistance gene *Sr31* in *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Uganda. *Plant Disease*. 2000;84(2):203. DOI: 10.1094/PDIS.2000.84.2.203B
- Prins R., Groenewald J.Z., Marais G.F., Snape J.W., Koebner R.M.D. AFLP and STS tagging of *Lr19*, a gene conferring resistance to leaf rust in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2001;103(4):618-624. DOI: 10.1007/PL00002918
- Roelfs A.P., Singh R.P., Saari E.E. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. Mexico: CIMMYT;1992.
- Rouse M.N., Nava I.C., Chao S., Anderson J.A., Jin Y. Identification of markers linked to the race Ug99 effective stem rust resistance gene *Sr28* in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2012;125(5):877-885. DOI: 10.1007/s00122-012-1879-6
- Sibikeev S.N., Druzhin A.E. Prebreeding research of near isogenic lines of spring bread wheat with a combination of translocations from *Agropyron elongatum* (Host) P. B. and *Aegilops ventricosa* Tausch. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(3):310-315. [in Russian] (Сибикеев С.Н. Дружин А.Е. Пребридинговые исследования почти изогенных линий яровой мягкой пшеницы с комбинацией транслокаций от *Agropyron elongatum* (Host) P. B. и *Aegilops ventricosa* Tausch. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015;19(3):310-315). DOI: 10.18699/VJ15.040
- Stakman E.C., Steward D.M., Loegering W.Q. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. Washington, DC: USDA-ARS; 1962.
- Tsilo T.J., Jin Y., Anderson J.A. Diagnostic microsatellite markers for detection of stem rust resistance gene *Sr36* in diverse genetic backgrounds of wheat. *Crop Science*. 2008;48(1):253-261. DOI: 10.2135/cropsci2007.04.0204
- Vasilova N.Z., Askhadullin Dam.F., Askhadullin Dan.F. Stem rust epiphytotic on soft spring wheat in Tatarstan. *Journal of Plant Protection and Quarantine*. 2017;(2):27-28. [in Russian] (Василова Н.З., Асхадуллин Дам.Ф., Асхадуллин Дан.Ф. Эпифитотия стеблевой ржавчины на яровой пшенице в Татарстане. *Защита и карантин растений*. 2017;(2):27-28).
- Weng Y., Azhaguvel P., Devkota R.N., Rudd J.C. PCR-based markers for detection of different sources of 1AL.1RS and 1BL.1RS wheat-rye translocations in wheat background. *Plant Breeding*. 2007;126(5):482-486. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2007.01331.x

Информация об авторах

Ольга Александровна Баранова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, шоссе Подбельского, 3, baranova_oa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9439-2102>

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>

Эльмира Александровна Конькова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, baukenowaea@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8607-2301>

Information about the authors

Olga A. Baranova, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, baranova_oa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9439-2102>

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>

Elmira A. Konkova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, baukenowaea@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8607-2301>

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 08.12.2022; одобрена после рецензирования 22.01.2023; принята к публикации 02.03.2023.
The article was submitted on 08.12.2022; approved after reviewing on 22.01.2023; accepted for publication on 02.03.2023.

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

Научная статья

УДК 634.86: 575.113.2

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-187-193



Идентификация локусов *Rpv3* и *Rpv12* в потомках сорта винограда 'Талисман'

Е. Т. Ильницкая, М. В. Макаркина, Т. Д. Козина, Е. А. Кожевников, В. С. Петров

Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Тарасовна Ильницкая, ilnitskaya79@mail.ru

В настоящее время при реализации селекционных программ по созданию устойчивых к патогенам генотипов винограда используют методику ДНК-маркерной оценки как непосредственно в селекционном отборе, так и при оценке исходного генофонда. Сорт винограда 'Талисман', обладая высокими потребительскими характеристиками, устойчивостью к болезням и морозу и функционально женским типом цветка, является привлекательным для селекции.

Нами выполнена ДНК-маркерная оценка генотипа 'Талисман' и сортов, а также новых гибридных форм винограда, созданных с участием сорта 'Талисман' на наличие локусов устойчивости к милдью *Rpv3* и *Rpv12*. Известно, что наличие этих двух генов в одном генотипе винограда имеет аддитивный эффект. Согласно родословной сорта 'Талисман' (Фрумоаса Албэ × Восторг), можно предполагать наличие данных генов в исследуемой выборке. Исследование проведено методом ПЦР с анализом результатов на автоматическом генетическом анализаторе. ДНК выделяли из молодых побегов анализируемых растений методом ЦТАБ. В работе использованы тесно сцепленные микросателлитные маркеры, рекомендованные для ДНК-идентификации аллельного состояния генов *Rpv3* (UDV305, UDV737) и *Rpv12* (UDV343, UDV360). Одновременное присутствие *Rpv3* и *Rpv12* определено только в генотипе сорта 'Талисман'. При анализе генотипов – потомков сорта 'Талисман' наличие гена устойчивости к милдью *Rpv3* определено в гибридах винограда под наименованиями «Агат дубовский», «Пёстрый» и гена *Rpv12* – в генотипах 'Виктор', 'Преображение'. ДНК-маркерный анализ подтверждает перспективность генотипа 'Талисман' для селекции столовых сортов как донора генов устойчивости к милдью *Rpv3* и *Rpv12*.

Ключевые слова: ДНК-маркеры, столовый виноград, гены устойчивости к милдью, ПЦР

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/20.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Ильницкая Е.Т., Макаркина М.В., Козина Т.Д., Кожевников Е.А., Петров В.С. Идентификация локусов *Rpv3* и *Rpv12* в потомках сорта винограда 'Талисман'. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):187-193. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-187-193

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-187-193

Identification of *Rpv3* and *Rpv12* loci in the progenies of the 'Talisman' grape cultivar

Elena T. Ilnitskaya, Marina V. Makarkina, Tatiana D. Kozina, Evgeny A. Kozhevnikov, Valery S. Petrov

North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, Krasnodar, Russia

Corresponding author: Elena T. Ilnitskaya, ilnitskaya79@mail.ru

Currently, when implementing breeding programs to produce pathogen-resistant grape genotypes, the DNA marker assessment method is used both directly in breeding-oriented selection and in evaluation of the initial gene pool. The 'Talisman' grape cultivar, with its fine consumer characteristics, resistance to diseases and frost, and a functionally female type of flower, is promising for breeding.

We performed a DNA marker assessment of the 'Talisman' genotype and cultivars as well as new hybrids of grapes developed with the participation of cv. 'Talisman' for the presence of the *Rpv3* and *Rpv12* downy mildew resistance loci. It is known that the presence of these two genes in the same grape genotype has an additive effect. According to the pedigree of cv. 'Talisman' (Frumoasa Albe × Vostorg), the presence of these genes can be assumed in the studied sample. The study was based on PCR with an analysis of the results on an automatic genetic analyzer. DNA was isolated from young shoots of the analyzed plants by the CTAB method. We used closely linked microsatellite markers recommended for DNA identification of the allelic status of the *Rpv3* (UDV305, UDV737) and *Rpv12* (UDV343, UDV360) genes. The simultaneous presence of *Rpv3* and *Rpv12* was detected only in the cv. 'Talisman' genotype. When analyzing the progeny genotypes of cv. 'Talisman', the presence of the *Rpv3* downy mildew resistance gene was found in the grape hybrids 'Agat Dubovskiy', 'Pestry', and *Rpv12* gene in the 'Viktor' and 'Preobrazheniye' genotypes. DNA-marker analysis confirmed the prospects of the cv. 'Talisman' genotype for breeding of table cultivars as a donor of the downy mildew resistance genes *Rpv3* and *Rpv12*.

Keywords: DNA markers, table grapes, downy mildew resistance genes, PCR

Acknowledgements: this work was financially supported by the Kuban Science Foundation in the framework of Scientific Project No. IFR-20.1/20.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Ilnitskaya E.T., Makarkina M.V., Kozina T.D., Kozhevnikov E.A., Petrov V.S. Identification of *Rpv3* and *Rpv12* loci in the progenies of the 'Talisman' grape cultivar. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):187-193. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-187-193

Введение

Виноград – одна из наиболее значимых сельскохозяйственных культур в мире. Насаждения данной культуры представлены в основном сортами технического и столового направления использования. Урожай технических сортов ценен для производства винодельческой продукции. Ягоды большинства столовых сортов винограда используются человеком для потребления в пищу в свежем виде. Селекция новых столовых сортов ведется с учетом требований к внешним признакам и вкусовым качествам винограда, транспортабельности и пригодности урожая к хранению, технологичности при возделывании и устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам.

Повышенным спросом у потребителей пользуется виноград с крупной ягодой, нарядной окраской, мускатным ароматом, а также и бессемянная форма. Устойчивость сорта к вредителям и болезням позволяет сократить применение химических средств защиты, что дает возможность получать более экологически безопасную продукцию.

В настоящее время при реализации селекционных программ по созданию устойчивых к патогенам генотипов винограда используют методику ДНК-маркерной оценки как непосредственно в селекционном отборе, так и при оценке исходного генофонда (Eibach et al., 2007; Kosev et al., 2017; Sánchez-Mora et al., 2017; Merdinoglu et al., 2018; Saifert et al., 2018; Schneider et al., 2019; Vezzulli et al., 2019; Zini et al., 2019; Ruiz-García et al., 2021).

Милдью – одно из наиболее значимых сезонных заболеваний винограда, при благоприятных погодных условиях эпифитотийное развитие может привести к полной гибели урожая неустойчивых сортов и нанести серьезный ущерб насаждениям. Донорами устойчивости к милдью главным образом являются сорта и формы, относящиеся к американским (*Vitis riparia* Michx., *V. aestivalis* Michx., *V. berlandieri* Planch., *V. cinerea* Engelm., *V. labrusca* L., *V. rotundifolia* Michx.) и восточноазиатским (*V. amurensis* Rupr., *V. piasezkii* Maxim.) видам винограда (Alleweldt, Possingham, 1988; Wan et al., 2007).

Молекулярно-генетическими методами идентифицировано свыше 30 генов устойчивости к милдью, к ряду генов определены ДНК-маркеры (VITIS International..., 2022).

‘Талисман’ – столовый сорт винограда, устойчивый к болезням и морозу, который был получен во Всероссийском научно-исследовательском институте виноградарства и виноделия (ВНИИВиВ) им. Я.И. Потапенко при скрещивании сортов ‘Фрумоаса Албэ’ и ‘Восторг’. Ягоды у ‘Талисмана’ белые, очень крупные (12–16 г и крупнее при соответствующем уходе), гармоничного вкуса, при полном созревании имеют мускатный аромат. Виноград имеет хорошую транспортабельность. Цветок функционально женского типа. Высокие потребительские характеристики винограда, крупноплодность, устойчивость, высокая урожайность способствовали широкому распространению сорта у любителей, а наличие функционально женского типа цветка делает ‘Талисман’ особо привлекательным для использования в селекции (Krasokhina, Kostrikin, 2006). Так как ‘Талисман’ {(Фрумоаса Албэ (Гузаль кара × Сейв Виллар 20-473) × [Восторг (Заря севера × Долорес) × Русский ранний]} имеет сложную родословную (в его происхождении участвовали *V. amurensis*, *V. vinifera* и североамериканские виды), то устойчивость к милдью может быть обусловлена наличием генов

устойчивости как от дикого винограда амурского, так и от североамериканских видов.

Ранее с использованием ДНК-маркеров к гену *Rpv3* нами было определено наличие локуса устойчивости в генотипе винограда ‘Талисман’ (Il'nitskaya et al., 2018), который наследуется от североамериканских видов (Di Gaspero et al., 2012). Также с использованием ДНК-маркерного анализа в генотипе сорта ‘Восторг’ нами был определен локус устойчивости к милдью *Rpv12* (Il'nitskaya et al., 2020) и отсутствие локуса устойчивости *Rpv10* (Il'nitskaya et al., 2018); данные гены устойчивости наследуются от *V. amurensis* (Schwander et al., 2012; Venuti et al., 2013). Так как сорт ‘Восторг’ является родительской формой сорта ‘Талисман’, то можно предположить наличие локуса устойчивости *Rpv12* и в генотипе ‘Талисман’, так как нами определено наличие *Rpv12* в генотипе ‘Рошфор’ (Талисман × Кардинал), из родословной ‘Рошфора’ понятно, что *Rpv12* он унаследовал от ‘Талисмана’ (Il'nitskaya et al., 2020). Изначально ген устойчивости к милдью *Rpv12* был определен в сорте винограда ‘Заря севера’ (Venuti et al., 2013), который является родительской формой сорта ‘Восторг’.

Целью работы было определить наличие локусов устойчивости к милдью *Rpv3* и *Rpv12* в генотипах винограда, полученных с участием сорта ‘Талисман’, в том числе новых изучаемых гибридных формах столового винограда.

Материалы и методы исследований

В исследования были включены сорта ‘Преображение’, ‘Виктор’ (селекция В. Н. Крайнова), ‘Подарок Несветая’, ‘Памяти учителя’ (селекции Е. Г. Павловского) и перспективные гибридные формы столового винограда, созданные С. Э. Гусевым и изучаемые в Северо-Кавказском федеральном научном центре садоводства, виноградарства, виноделия (СКФНЦСВВ): Агат дубовский, Арабелла, Пёстрый, произрастающие в Крестьянско-фермерском хозяйстве (КФХ) «Т. Б. Фисюра» (с. Красносельское, Краснодарский край) и сорт ‘Талисман’, из ампелографической коллекции ВНИИВиВ им. Я. И. Потапенко (г. Новочеркасск, Ростовская область), который является родительской формой указанных генотипов.

Исследование проведено методом ПЦР (полимеразной цепной реакции) с анализом результатов на автоматическом генетическом анализаторе «Нанофор 05» (Институт аналитического приборостроения РАН, г. Санкт-Петербург, Россия) в двух повторностях. ДНК выделяли из коронки молодых побегов, полученных методом проращивания черенков растений в воде, изучаемых сортов методом ЦТАБ (цетилтриметиламмоний бромид) (Rogers, 1985). В работе использованы тесно сцепленные микросателлитные маркеры, рекомендованные для ДНК-идентификации аллельного состояния изучаемых генов (табл. 1).

ПЦР проводили с использованием амплификатора Eppendorf MasterCycler nexus GX2 (Германия) по оптимизированным протоколам: 5 мин при +95°C (начальная денатурация); 35 циклов (10 с при 95°C (денатурация), 30 с при +55°C для UDV305, UDV737 и при +60°C – UDV343 и UDV360, 30 с при +72°C (элонгация); 3 мин при +72°C (финальная элонгация) (Il'nitskaya et al., 2020). Состав ПЦР-смеси (на 20 мкл): 50 нг ДНК, 1,5 единицы Taq-полимеразы, 1хбуфер для Taq-полимеразы с сульфатом аммония и магнием, 2 мМ MgCl₂, по 0,2 мМ каждого dNTP (дезоксинуклеотидтрифосфаты) (СибЭнзим-М,

Таблица 1. ДНК-маркеры, использованные в работе**Table 1. DNA markers used in the work**

Ген	Маркер	Последовательность олигонуклеотидов	Ссылка
<i>Rpv3</i>	UDV305	F: TGGTGCAATGGTCATAATTT R: GAGGAAAAGAGAAAGCAAAGA	Di Gaspero et al., 2012
	UDV737	F: TTTGCATGCGATACCTGAAG R: TCCTGCAGCTGTTGACGATA	Di Gaspero et al., 2012
<i>Rpv12</i>	UDV343	F: TCTCAATCGGGGATCTCAAG R: TCATGGCTGCAAAGGACATA	Venuti et al., 2013
	UDV360	F: TGCTTTACAGGTGACCATCAA R: GCAACCAATTGAGGGGATTA	Venuti et al., 2013

Москва) и 200 мкМ каждого из праймеров (ООО «Синтол», Москва). В качестве контролей использовали ДНК сортов, в которых обнаружены указанные гены, согласно опубликованным данным ('Villard blanc' – для *Rpv3*; 'Kunleany' – для *Rpv12*) (Di Gaspero et al., 2012; Venuti et al., 2013). Молекулярно-генетические исследования выполнены с применением оборудования ЦКП «Геномные и постгеномные технологии» ФГБНУ СКФНЦСВВ в 2021–2022 гг.

Результаты и их обсуждение

Известно, что наличие в одном генотипе винограда аллелей устойчивости генов *Rpv3* и *Rpv12* имеет аддитивный эффект и значительно сокращает поражаемость растений возбудителем милдью (Venuti et al., 2013). В настоящее время в мире проводится ряд селек-

ционных программ по созданию устойчивых сортов винограда путем пирамидирования нескольких генов устойчивости в одном генотипе с использованием ДНК-маркерного отбора. Однако и ранние работы селекционеров имели определенный успех в данном направлении с использованием традиционных подходов – отбор по фитопатологической оценке наиболее устойчивых форм из гибридных популяций сложных комбинаций скрещивания. Так, устойчивость к милдью генотипа винограда 'Талисман', имеющего комплексное межвидовое происхождение, определяется генетическими факторами устойчивости, унаследованными им как от генплазмы винограда амурского, так и североамериканских видов.

Нами выполнен ДНК-маркерный анализ генотипа 'Талисман' и семи его потомков с целью анализа наличия локусов устойчивости *Rpv3* и *Rpv12* (таблица 2).

Таблица 2. Идентифицированные аллели ДНК-локусов, сцепленных с генами устойчивости к милдью *Rpv3* и *Rpv12* в изучаемых генотипах винограда**Table 2. Identified alleles of DNA loci linked to the downy mildew resistance genes *Rpv3* and *Rpv12* in the studied grape genotypes**

Сорт, гибридная форма	Происхождение	<i>Rpv3</i>		<i>Rpv12</i>	
		UDV305	UDV737	UDV343	UDV360
		Аллели, пары нуклеотидов			
Villard blanc (контроль)	Зейбель 6468 × Зейбель 6905	299 361	279 299		
Kunleany (контроль)	Koleda 28/19 (<i>V. amurensis</i> × <i>V. vinifera</i>) × Afus Ali			164 195	209 211
Талисман	Фрумоаса Албэ × Восторг	299 326	279 295	164 216	209 211
Агат дубовский	Талисман × Кубань	299 342	279 279	195 216	189 211
Арабелла	Талисман × Ришелье	326 342	285 295	206 216	203 211
Виктор	Талисман × Кишмиш лучистый	326 342	285 295	164 206	203 209
Памяти учителя	Талисман × Кардинал	326 366	279 285	200 216	203 211
Пёстрый	Талисман × Кишмиш лучистый	299 342	279 285	195 216	203 211

Таблица 2. Окончание

Table 2. The end

Сорт, гибридная форма	Происхождение	<i>Rpv3</i>		<i>Rpv12</i>	
		UDV305	UDV737	UDV343	UDV360
		Аллели, пары нуклеотидов			
Подарок Несветая	Талисман × Красотка	326 326	285 295	200 216	203 211
Преображение	Талисман × Кишмиш лучистый	326 342	285 295	164 206	203 209

Согласно полученным данным ДНК-маркерного анализа, аллель гена *Rpv3*, влияющая на формирование устойчивости растений винограда к милдью, присутствует в генотипах Агат дубовский и Пёстрый (см. табл. 2). Гибридная форма винограда Агат дубовский (Талисман × Кубань) в своей родословной имеет сорт 'Талисман', несущий ген *Rpv3*, а отцовская форма – сорт 'Кубань' (Молдова × Кардинал) – происходит от сорта 'Молдова', который также обладает геном *Rpv3* (Di Gaspero et al., 2012; Ilnitskaya et al., 2018). Был ли унаследован locus устойчивости сортом 'Кубань' от 'Молдова' – данные отсутствуют, однако можно отметить, что по ДНК-локусу UDV737 выявлено гомозиготное состояние целевой аллели (279 пн) в генотипе Агат дубовский (см. таблицу 2). Гибридная форма Пёстрый, согласно родословной, унаследовала *Rpv3* от материнской формы 'Талисман'.

Результаты ДНК-маркерного анализа изучаемых генотипов винограда указывают на наличие *Rpv12* в генотипах винограда 'Талисман', 'Виктор' и 'Преображение' (рисунок). Сортом 'Талисман' locus устойчивости к милдью *Rpv12* был унаследован от сорта 'Восторг'. Сорта 'Преображение' и 'Виктор' унаследовали *Rpv12* от материнской формы – 'Талисман'.

Наличие одновременного присутствия аллелей устойчивости в локусах *Rpv3* и *Rpv12* в проанализированных генотипах винограда, полученных от материнской формы 'Талисман', не обнаружено. Показано, что в анализируемых локусах прослеживается кодоминантный тип наследования аллелей: в образцах, у которых отсутствует целевая аллель по изучаемому локусу, выявлена вторая аллель данного локуса от генотипа 'Талисман'.

Выводы

Методом ДНК-маркерного анализа определено наличие гена устойчивости к милдью *Rpv3* в генотипах столового винограда Агат дубовский, Пёстрый, 'Талисман' и гена *Rpv12* в генотипах 'Виктор', 'Преображение', 'Талисман'. Таким образом, одновременное присутствие *Rpv3* и *Rpv12* определено только в ДНК сорта 'Талисман' из проанализированных образцов. ДНК-маркерный анализ подтверждает перспективность генотипа 'Талисман' для селекции столовых сортов как донора генов устойчивости к милдью *Rpv3* и *Rpv12*.

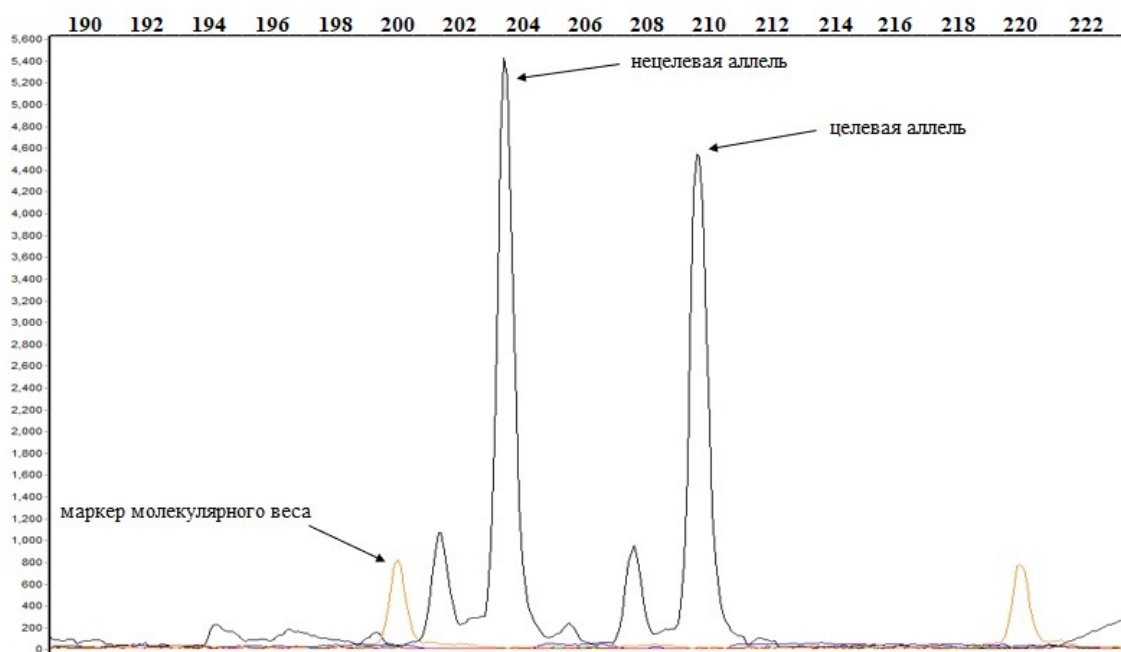


Рисунок. Визуализация результатов фрагментного анализа продукта ПЦР ДНК сорта 'Преображение' с маркером UDV360 к гену *Rpv12*

Figure. Visualization of the results of the DNA PCR product fragment analysis of cv. 'Preobrazheniye' with the UDV360 marker to the *Rpv12* gene

References / Литература

- Alleweldt G., Possingham J.V. Progress in grapevine breeding. *Theoretical and Applied Genetics*. 1988;75:669-673.
- Di Gaspero G., Copetti D., Coleman C., Castellarin S.D., Eibach R., Kozma P. et al. Selective sweep at the *Rpv3* locus during grapevine breeding for downy mildew resistance. *Theoretical and Applied Genetics*. 2012;124(2):277-286. DOI: 10.1007/s00122-011-1703-8
- Eibach R., Zyprian E., Welter L., Töpfer R. The use of molecular markers for pyramiding resistance genes in grapevine breeding. *VITIS – Journal of Grapevine Research*. 2007;46(3):120-124. DOI: 10.5073/vitis.2007.46.120-124
- Ilnitskaya E., Makarkina M., Tokmakov S., Kotlyar V. DNA-marker identification of *Rpv3* and *Rpv12* resistance loci in genotypes of table and seedless grape varieties. *BIO Web of Conferences*. 2020;25:03004. DOI: 10.1051/bio-conf/20202503004
- Ilnitskaya E., Tokmakov S., Makarkina M., Suprun I. Identification of downy mildew resistance genes *Rpv10* and *Rpv3* by DNA-marker analysis in a Russian grapevine germplasm collection. *Acta Horticulturae*. 2018;1248:129-134. DOI: 10.17660/ActaHortic.2019.1248.19
- Kosev K., Simeonov I., Ivanov M., Nakov Z., Hvarleva T. Phenotypic and molecular characterization of 18 Bulgarian newly bred grapevine varieties in relation to their resistance to downy mildew. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*. 2017;31(1):68-74. DOI: 10.1080/13102818.2016.1259019
- Krasokhina S.I., Kostrikin I.A. New table grape variety Talisman (Novy stolovy sort vinograda Talisman). *Horticulture and Viticulture*. 2006;(1):23. [in Russian] [Красохина С.И., Кострикин И.А. Новый столовый сорт винограда Талисман. *Садоводство и виноградарство*. 2006;(1):23].
- Merdinoglu D., Schneider C., Prado E., Wiedemann-Merdinoglu S., Mestre P. Breeding for durable resistance to downy and powdery mildew in grapevine. *OENO One*. 2018;52(3):203-209. DOI: 10.20870/oeno-one.2018.52.3.2116
- Rogers S.O., Bendich A.J. Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues. *Plant Molecular Biology*. 1985;5(2):69-76. DOI: 10.1007/BF00020088
- Ruiz-García L., Gago P., Martínez-Mora C., Santiago J. L., Fernández-López D.J., Martínez M.D.C. et al. Evaluation and pre-selection of new grapevine genotypes resistant to downy and powdery mildew, obtained by cross-breeding programs in Spain. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:674510. DOI: 10.3389/fpls.2021.674510
- Saifert L., Sánchez M.F., Assumpção W., Zanghelini J., Giacometti R., Novak E. et al. Marker-assisted pyramiding of resistance loci to grape downy mildew. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2018;53:602-610. DOI: 10.1590/s0100-204x2018000500009
- Sánchez-Mora F.D., Saifert L., Zanghelini J., Assumpção W.T., Guginski-Piva C.A., Giacometti R. et al. Behavior of grape breeding lines with distinct resistance alleles to downy mildew (*Plasmopara viticola*). *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 2017;17:141-149. DOI: 10.1590/1984-70332017v17n2a21
- Schneider C., Onimus C., Prado E., Dumas V., Wiedemann-Merdinoglu S., Dorne M.A. et al. INRA-ResDur: the French grapevine breeding programme for durable resistance to downy and powdery mildew. *Acta Horticulturae*. 2019;1248:207-214. DOI: 10.17660/ActaHortic.2019.1248.30
- Schwander F., Eibach R., Fechter I., Hausmann L., Zyprian E., Töpfer R. *Rpv10*: a new locus from the Asian *Vitis* gene pool for pyramiding downy mildew resistance loci in grapevine. *Theoretical and Applied Genetics*. 2012;124(1):163-176. DOI: 10.1007/s00122-011-1695-4
- Venuti S., Copetti D., Foria S., Falginella L., Hoffmann S., Bellin D. et al. Historical introgression of the downy mildew resistance gene *Rpv12* from the Asian species *Vitis amurensis* into grapevine varieties. *PLoS ONE*. 2013;8(4):e61228. DOI: 10.1371/journal.pone.0061228
- Vezzulli S., Dolzani C., Migliaro D., Banchi E., Stedile T., Zatelli A. et al. The Fondazione Edmund Mach grapevine breeding program for downy and powdery mildew resistances: toward a green viticulture. *Acta Horticulturae*. 2019;1248:109-114. DOI: 10.17660/ActaHortic.2019.1248.16
- VITIS International variety catalogue VIVC. Table of loci for traits in grapevine relevant for breeding and genetics. Julius Kühn Institut; 2022. Available from: https://www.vivc.de/docs/dataonbreeding/20220218_Table%20of%20Loci%20for%20Traits%20in%20Grapevine.pdf [accessed Apr. 26, 2022].
- Wan Y., Schwaninger H., He P., Wang Y. Comparison of resistance to powdery mildew and downy mildew in Chinese wild grapes. *VITIS – Journal of Grapevine Research*. 2007;46(3):132-136.
- Zini E., Dolzani C., Stefanini M., Grati V., Bettinelli P., Nicolini D. et al. R-loci arrangement versus downy and powdery mildew resistance level: a *Vitis* hybrid survey. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019;20(14):3526. DOI: 10.3390/ijms20143526

Информация об авторах

Елена Тарасовна Ильницкая, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, ilnitskaya79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2446-0971>

Марина Викторовна Макаркина, младший научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, kones_citatu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3397-0666>

Татьяна Дмитриевна Козина, лаборант-исследователь, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодарский край, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, tiaanta@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2908-6461>

Евгений Анатольевич Кожевников, младший научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодарский край, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, zhnya.kozhevnikov.2017@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1305-3614>

Валерий Семенович Петров, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодарский край, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, Petrov_53@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0856-7450>

Information about the authors

Elena T. Il'nitskaya, Cand. Sci. (Biology), Head of a Laboratory, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, ilnitskaya79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2446-0971>

Marina V. Makarkina, Associate Researcher North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, konec_citatu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3397-0666>

Tatiana D. Kozina, Laboratory Research Assistant, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, tiaanta@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2908-6461>

Evgeny A. Kozhevnikov, Associate Researcher, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, zhenya.kozhevnikov.2017@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1305-3614>

Valery S. Petrov, Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, Petrov_53@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0856-7450>

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 23.05.2022; одобрена после рецензирования 23.09.2022; принята к публикации 02.03.2023.
The article was submitted on 23.05.2022; approved after reviewing on 23.09.2022; accepted for publication on 02.03.2023.

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

Научная статья
УДК 635.65:631.523
DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-194-204



К вопросу о ранней диагностике низкого содержания танинов в семенах бобов конских (*Vicia faba* L.)

С. М. Мамедова, В. С. Попов, А. Е. Соловьева, И. Н. Перчук, Л. Л. Малышев, М. А. Вишнякова

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

Автор, ответственный за переписку: Сейдаханым Мирмагомедовна Мамедова, s.mamedova@vir.nw.ru

Актуальность. Использование бобов конских (*Vicia faba* L.) в качестве кормового и пищевого растения сдерживается наличием антипитательных веществ, в частности содержанием фенольных соединений – танинов – в семенной оболочке. Наличие в генофонде низкотаниновых или безтаниновых форм позволяет вести селекцию на этот признак. Цель работы – осуществить биохимическую валидацию известного морфологического маркера низкого содержания танинов, а также выявить связи между рядом фенотипических признаков, характеризующихся накоплением фенольных соединений – танинов и антоцианов, с их концентрацией для использования в качестве дополнительных морфологических маркеров низкого содержания этих антипитательных веществ в семенах бобов.

Материалы и методы. У 10 образцов бобов из коллекции ВИР с разной окраской семенной кожуры анализировали связи наличия/отсутствия антоциана на проростках, пигментации на лепестках, темных экстрафлоральных нектарников на прилистниках с содержанием танинов и антоцианов. Растения выращивали и изучали в Ленинградской обл. в 2020–2021 гг. Танины в семенах определяли методом Левентала. Антоцианы определяли в зеленой массе растений спектрофотометрическим методом.

Результаты и заключение. Выявлены разные комбинации изученных морфологических признаков, связанных с окраской изучаемых органов. Определена высокая положительная корреляция между содержанием антоцианов и танинов ($r = 0,79$), а также прямая связь высокого значения этих признаков с наличием темного экстрафлорального нектарника на прилистниках и антоциана на проростках. Отсутствие антоцианового окрашивания проростков и отсутствие темноокрашенного экстрафлорального нектарника на прилистниках могут служить маркерами низкотаниновых генотипов на ранних стадиях развития растений. Светлая, долго не темнеющая окраска семенной кожуры также может быть свидетельством низкого содержания танинов.

Ключевые слова: антоциан в проростках, фенольные соединения, белоцветковость, экстрафлоральные нектарники, морфологические маркеры

Благодарности: статья выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по договору № 075-15-2020-911 от 16.11.2020 о предоставлении гранта в виде субсидии из федерального бюджета Российской Федерации. Грант предоставлен для государственной поддержки создания и развития Научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Мамедова С.М., Попов В.С., Соловьева А.Е., Перчук И.Н., Малышев Л.Л., Вишнякова М.А. К вопросу о ранней диагностике низкого содержания танинов в семенах бобов конских (*Vicia faba* L.). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023;184(1):194-204. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-194-204

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-194-204

Concerning the issue of early diagnostics of low tannin content in faba bean seeds (*Vicia faba* L.)

Seidkhanym M. Mamedova, Vitaliy S. Popov, Alla E. Solovyeva,
Irina N. Perchuk, Leonid L. Malyshev, Margarita A. Vishnyakova

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

Corresponding author: Seidkhanym M. Mamedova, s.mamedova@vir.nw.ru

Background. The use of faba bean (*Vicia faba* L.) as a feed and food plant is hindered by the presence of antinutritional substances and in particular phenolic compounds – tannins – in the seed coat. The existence of low-tannin or zero-tannin forms in the faba bean gene pool allows breeders to promote this trait. The aim of this work was to carry out biochemical validation of a known morphological marker of low tannin content and identify relationships of some phenotypic traits characterized by accumulation of phenolic compounds (tannins and anthocyanins) with their concentration for use as additional morphological markers of the low content of these antinutrients in bean seeds.

Materials and methods. Associations of the presence/absence of anthocyanin in seedlings, pigmentation on petals, and dark extrafloral nectaries on stipules with the content of tannins and anthocyanins were analyzed in 10 faba bean accessions with different seed coat colors from the VIR collection. The plants were grown and evaluated in Leningrad Province in 2020–2021. Tannins in seeds were assessed using Leventhal's method. Anthocyanins were analyzed in the green biomass of plants using a spectrophotometric method.

Results and conclusion. Different combinations of the studied morphological features associated with the coloration of the studied organs were found. A high positive correlation between the levels of anthocyanins and tannins ($r = 0.79$) was identified as well as a direct connection of the high value of these traits with the presence of a dark extrafloral nectary on stipules and anthocyanin in seedlings. The absence of anthocyanin staining on seedlings and the absence of dark-colored extrafloral nectaries on stipules can serve as markers of low-tannin genotypes in the early stages of plant development. The light seed coat color that does not darken for a long time may also be the evidence of low tannin content.

Keywords: anthocyanins in seedlings, phenolic compounds, white flowers, extrafloral nectaries, morphological markers

Acknowledgements: The article was made with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under Agreement No. 075-15-2020-911 dated November 16, 2020 on providing a grant in the form of subsidies from the Federal Budget of the Russian Federation. The grant was provided as governmental support for the 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: Mamedova S.M., Popov V.S., Solovyeva A.E., Perchuk I.N., Malyshev L.L., Vishnyakova M.A. Concerning the issue of early diagnostics of low tannin content in faba bean seeds (*Vicia faba* L.). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):194-204. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-194-204

Введение

Бобы конские (*Vicia faba* L.) – одно из наиболее древних domesticiрованных растений. В Средневековые бобы были доминирующей зернобобовой культурой в Европе, а также имели большое значение в питании людей в Японии и Китае (Muratova, 1931; Biddle, 2017). Постепенно роль культуры в Европе начала снижаться из-за предпочтения интродуцированных фасоли и сои, а в нашей стране – вследствие расширения посевов кукурузы, позднее сои и нута.

Между тем кормовую и пищевую ценность этой культуры трудно переоценить. Семена бобов содержат 27–35% белка и конкурируют с горохом и фасолью (Smirnova-Ikonnikova, 1962; Duranti, 2006), зеленая масса содержит сырого белка в 1,5–2 раза больше, чем кукуруза – 13,8–21,5% (Jenson, 1962). Фактор, усложняющий использование и селекцию бобов – антипитательные вещества, в частности конденсированные танины, локализованные в семенной оболочке. Танины – широко распространенные в растениях полифенольные соединения (флавоноиды), известные своими свойствами связывать белки, что снижает усвояемость последних и, как следствие, сказывается при кормлении, особенно моногастровых животных (Woyengo, Nyachoti, 2012). Таким образом, создание сортов, в которых содержание танинов сведено к минимуму, – ключевая задача селекции этой культуры.

Известно о значительной изменчивости содержания танинов в семенах бобов (Bond, Smith, 1989). Установлено, что низкое содержание этих полифенольных соединений у *V. faba* определяется аллелями *zt-1* и *zt-2*, (*zero-tannin*) (Picard, 1976), которые обладают плейотропным эффектом, в частности определяют отсутствие черной пигментации на околоцветнике (Cabreza, Martin, 1986; Duc et al., 1999). Данная мутация легко распознается в полевых условиях, служит морфологическим маркером низкотаниновых форм, но встречается редко, а данные о ее биохимической валидации практически отсутствуют.

Полагают, что с низким содержанием танинов в семенах бобов могут быть связаны и другие морфологические признаки растения, такие как темное пятно на прилистниках и окраска семенной оболочки (Weins, 2016).

Темное пятно на прилистниках – экстрафлоральный нектарник, свойственный некоторым представителям трибы Viciaeae, в том числе *V. faba*. Он представлен железистыми волосками и несколькими подлежащими слоями тонкостенных паренхимных секреторных клеток (Heneidak, Hasson, 2007). Его темную окраску объясняют наличием флавоноидных пигментов в железистых волосках у высокотаниновых форм и отсутствием таковой у безтаниновых (Weins, 2016). Однако убедительных доказательств этого нет. Нет также сведений об изменчивости и частоте встречаемости признака наличия/отсутствия антоциановой окраски на проростках бобов, которая отмечена в ряде исследований (Goyal, 1965; Metz et al., 1992) и которая по мере роста растения остается на стебле. В исследовании Н. F. Croft с соавторами утверждается, что антоциановая окраска проростков также может свидетельствовать о наличии танинов в семенах и характерна для форм с их высоким содержанием (Croft et al., 1980). Таким образом, можно предполагать, что плейотропное действие аллелей *zt-1* и *zt-2* распространяется и на наличие темных пятен (экстрафлоральных нектарников) на прилистниках

бобов, и на антоциановое окрашивание проростков и стебля.

Известно, что танины и антоцианы – вещества фенольного цикла – флавоноиды. Оба соединения продуцируются родственными ветвями флавоноидного пути и используют одни и те же метаболические промежуточные продукты (Gutierrez, Torres, 2019). Однако закономерности взаимосвязи наличия этих продуктов в органах растений бобов конских, а также корреляции их содержания с другими признаками не были объектом специальных исследований.

Цель данной работы – биохимическая валидация морфологического маркера – низкого содержания танинов у белоцветковых образцов, а также выявление связей между наличием пигментации на лепестках, окраской семенной кожуры и рубчика семени, наличием темного пятна (экстрафлорального нектарника) на прилистниках, антоциана на проростках и содержанием танинов в семенах у бобов конских с целью поисков возможных дополнительных морфологических маркеров низкого содержания этих антипитательных веществ в семенах бобов.

Материалы и методы

В исследование взяты 10 образцов бобов из коллекции ВИР разных лет поступления в коллекцию. Эти образцы отобраны по результатам предварительного биохимического анализа. Образцы преимущественно светлосемянные, относятся к восточно-европейской группе и к разновидностям *major*, *minor*, *equina*, по классификации В. С. Муратовой (Muratova, 1931). Растения выращивали и изучали на экспериментальных полях научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (г. Пушкин, Санкт-Петербург) по методике, принятой в ВИР (Vishnyakova et al., 2018).

При создании выборки отбирали низкотаниновые образцы, придерживаясь принципа их максимального разнообразия по комплексу изучаемых признаков: сочетание окраски семенной кожуры, окраски рубчика и наличия/отсутствия пигментации на лепестках и темноокрашенных экстрафлоральных нектарников, а также размера и формы семян.

Светлая окраска семян варьировала от почти белой, до оттенков кремово-бежевой и светло-коричневой окраски. По используемой некогда в ВИР «шкале хроматиксии» П. А. Саккардо (Mishchenko, 1915), эти образцы можно отнести к категории *albus* – белый (с грязноватым оттенком или примесями других оттенков) и *lateritius* (кремовый, бежевый, светло-коричневый). Категорию *lateritius* мы подразделили на две группы: светлые (кремовые и бежевые) и темные (оттенки светло-коричневого).

У сорта 'Русские черные' окраска семенной кожуры по этой шкале отнесена к категории *pigum* – черная.

Для ранней диагностики присутствия антоцианов было проведено проращивание семян в чашках Петри, в стерильных условиях.

Растения выращивали в лаборатории оздоровления растений в световой комнате при температуре 28°C и при круглосуточном освещении до появления проростков. Далее проростки выращивали в отсутствии света. Для оценки окраски проростков семена после проращивания на свету следует содержать в темноте, так как у этилированных растений контраст фиолетового цве-

та и его отсутствия более выражен вследствие отсутствия зеленой окраски фона (Goyal, 1965).

Массу 1000 семян определяли по традиционной методике (Vishnyakova et al., 2018).

Муку из бобов получали методом прямого помола цельных семян с оболочками. Содержание сухого вещества муки определяли методом, основанном на взвешивании части измельченной средней пробы до и после высушивания при температуре 100–102°C до постоянной массы (Ermakov, Arasimovich, 1987). Все полученные значения танинов и дубильных веществ пересчитывали на сухое вещество.

Танины в семенах определяли методом Левентала перманганатом калия в кислой среде в присутствии индикатора и катализатора индигосульфокислоты. Так как перманганат калия частично окисляет и низкомолекулярные фенольные соединения, применяли осаждение дубильных веществ желатином, основанным на легкой окисляемости последних как веществ фенольной природы (Razarenova, Zhokhova, 2011).

Антоцианы определяли в зеленой массе растений спектрофотометрическим методом. Для этого с потенциально пигментсодержащих участков растения (на что указывает розоватый оттенок) брали навеску в 1 г и растирали в ступке до однородной массы. Экстракцию пигментов проводили 1-процентным раствором соляной кислоты. Оптическую плотность экстрактов измеряли спектрофотометрически при длине волны 510 нм. Содержание суммы антоцианов рассчитывали в мг/100 г в пересчете на цианидин-3,5-дигликозид (Wu et al., 2006).

Содержание белка в семенах определяли по методу Кьельдаля: навеску муки минерализовали при нагревании с концентрированной серной кислотой при 420°C в течение полутора часов. Определение азота проводили используя полуавтоматический анализатор Kjeltac 2200 (FOSS, Швеция) с последующим титрованием 0,1 н раствором серной кислоты. Общее содержание белка рассчитывали по азоту с коэффициентом 6,25 (для бобовых культур) (Ermakov, Arasimovich, 1987).

Статистическую обработку данных осуществляли с использованием пакета программ Statistica 12.0: она включала в себя дисперсионный и корреляционный анализ, а также построение уравнения линейной регрессии между содержанием антоцианов и танинов.

Результаты

Проведен анализ вариантов сочетания в одном генотипе признаков: 1) цветка – отсутствия/наличия черной пигментации на крыльях венчика; 2) семян – размера, окраски семенной кожуры и рубчика; 3) прилистников – наличия/отсутствия темного пятна; 4) проростков – наличия/отсутствия антоциана, а также содержания танинов и белка в семенах, антоцианов в зеленой массе.

Первые два признака легли в основу подбора растительного материала по принципу максимального разнообразия коллекционных образцов (табл. 1).

Выявлены следующие комбинации изученных морфологических признаков, связанных с окраской изучаемых органов:

1. Светлые семена (albus) – светлый рубчик – белые цветки без пигментации – зеленые проростки без антоциана – прилистники без темного пятна.

2. Кремowo-бежевые семена (lateritius-светлый) – светлый рубчик – белые цветки без пигментации – зеленые проростки без антоциана – прилистники с темным пятном.

3. Кремowo-бежевые семена (lateritius-светлый) – светлый рубчик – белые цветки без пигментации – проростки с антоцианом – прилистники без темного пятна.

4. Бежево-коричневые семена (lateritius-темный) – темный рубчик, цветки с пигментным пятном на лепестках – проростки с антоцианом – прилистники с темным пятном.

5. Темная семенная кожура (nigrum) – темный рубчик – цветки с черным пятном на лепестках – проростки с антоцианом – темное пятно на прилистниках (см. табл. 1).

Следует отметить, что в пределах каждого образца была обнаружена только одна комбинация.

Определено содержание антоцианов в зеленой массе и танинов в семенах изученных образцов (см. табл. 1).

У пяти образцов, относящихся по шкале хромотаксии к категории albus, содержание антоцианов (6,84–8,89 мг/100 г) достоверно ниже почти в два раза, чем у образцов из категорий lateritius (14,02–23,85 мг/100 г) и nigrum – 21,99 мг/100 г. Аналогичная изменчивость характерна для содержания танинов: в группе albus самые низкие значения – 0,10–0,35%, в группе lateritius достоверно выше – 0,32–0,78%, как и у образца с семенной кожурой категории nigrum – 0,60%. Достоверно более высокая средняя концентрация танинов выявлена для групп: с пигментацией на лепестках; с антоциановыми проростками; с наличием пигментных пятен на прилистниках (экстрафлоральных нектарников) (табл. 2) и у образцов с темным рубчиком (см. табл. 1; табл. 2).

Выявлены высокая положительная корреляция между содержанием антоцианов и танинов ($r = 0,79$, коэффициент линейной регрессии $b = 0,032$ $p = 0,05$) (рисунк), высокая положительная корреляция между концентрацией антоциана и белка ($r = 0,76$) и средняя положительная связь между белком и танинами ($r = 0,60$). Между содержанием танинов и размером семян связь очень слабая.

Обнаружена связь между наличием темного пятна на прилистниках и присутствием антоцианов у проростков. Сопряженное наличие пигментации на лепестках, проростках и прилистниках характерно для двух категорий по шкале хромотаксии: nigrum и для подгруппы категории lateritius, которую мы обозначили как «темная» (темно-бежевая или разные оттенки коричневого). В подгруппе «светлая» категории lateritius такого согласованного сочетания не наблюдается (см. табл. 1). Для нее характерны отсутствие пигментации на лепестках и светлый рубчик, но наличие антоциана на проростках и пигментации на прилистниках – варьирующие признаки. Между тем отсутствие пигментации на лепестках и отсутствие темного пятна на прилистниках всегда идут в связке. Исключение составляет только сорт 'Top-less', у которого отсутствие пигментации на лепестках сочетается с наличием пигментированного нектарника. Следует отметить особенность этого сорта: околоцветник лишен пигментации в начале цветения, но со временем на нем появляются пигментные пятна, которые, сливаясь, дают почти типичную для большинства бобов черную пигментацию лепестков.

Таблица 1. Окраска семенной кожуры, рубчика, наличие пигментации на лепестках, на прилистниках, проростках, концентрация танинов и антоцианов в образцах бобов из коллекции ВИР

Table 1. Coloration of the seed coat and hilum, presence of pigmentation on the petals, stipules and seedlings, and concentration of tannins and anthocyanins in faba bean accessions from the VIR collection

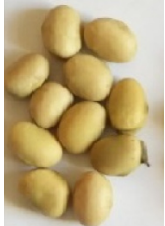
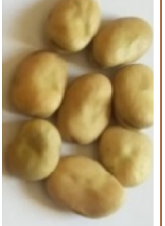
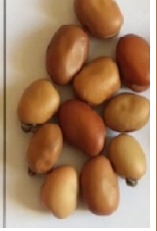
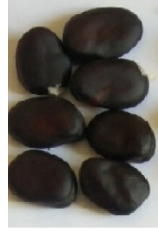
№ по каталогу ВИР	Название сорта	Окраска семенной кожуры	Внешний вид семян	Окраска рубчика	Наличие пигментации на лепестках	Наличие темного пятна на прилистнике	Наличие антоцианов на проростках	Антоцианы* в семенной массе, мг/100г	Танины* в семенах, %	Белок в семенах*, %	Размер семян (масса 1000 семян), г
2671	Находка	albus		светлый	нет	нет	нет	7,78	0,10	31,8	550,0
2581	ЛБ-71	albus		светлый	нет	нет	нет	7,62	0,17	31,1	630,0
1801	Konservenmeister	albus		светлый	нет	нет	нет	6,84	0,26	32	1071,4
2286	Toret	albus		светлый	нет	нет	нет	8,89	0,34	31,8	800,0
2580	Анна	albus		светлый	нет	нет	нет	7,25	0,35	31,5	1250,0

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

№ по каталогу ВИР	Название сорта	Окраска семенной кожур	Внешний вид семян	Окраска рубчика	Наличие пигмента- ции на лепестках	Наличие темного пятна на прилист- нике	Наличие антоциа- нов на пропостках	Антоцианы* в зе- леной массе, мг/100г	Танины* в семе- нах, %	Белок в семенах*, %	Размер семян (мас- са 1000 семян), г
2112	Top-less	lateritius		светлый	нет	есть	нет	14,02	0,32	31,6	588,8
2582	Широко	lateritius		светлый	нет	нет	есть	14,1	0,69	30,9	770,0
2396	Исток	lateritius		темный	есть	есть	есть	14,21	0,76	33,5	600,0
2264	Вировские овощные	lateritius		темный	есть	есть	есть	23,85	0,78	33,7	1250,0
1375	Русские черные	niger		темный	есть	есть	есть	21,99	0,60	34,4	1010,0

Примечание: * – на сухое вещество

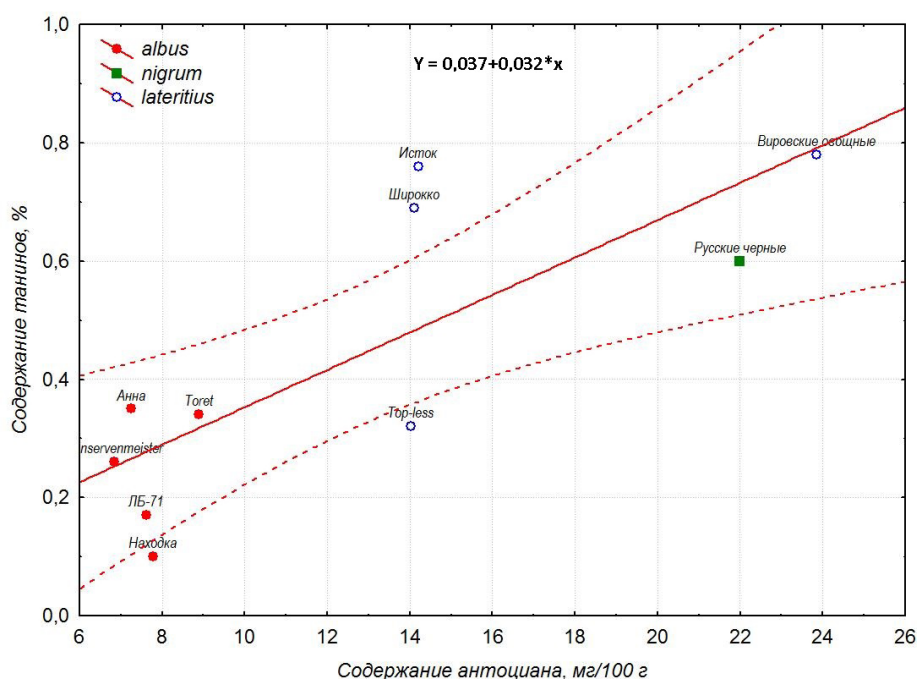
Note: * – on dry weight basis

Таблица 2. Среднее содержание танинов и достоверность различий в образцах бобов конских с разными морфологическими характеристиками**Table 2.** Mean tannin content and statistical significance of differences in faba bean accessions with different morphological characteristics

Состояние признака	$\bar{X}$	S_x	F	p
Окраска семенной кожуры				
Albus	0,244	0,048	7,04	0,021
Nigrum	0,600			
Lateritius	0,638	0,108		
Окраска рубчика				
Светлый	0,319	0,071	11,28	0,010
Темный	0,713	0,057		
Наличие пигментации на лепестках				
Отсутствует	0,319	0,071	11,28	0,010
Присутствует	0,713	0,057		
Наличие темного пятна на прилистнике				
Отсутствует	0,319	0,071	11,28	0,010
Присутствует	0,713	0,057		
Наличие антоциана на проростках				
Отсутствует	0,244	0,048	15,94	0,004
Присутствует	0,630	0,084		

Примечание: $\bar{X}$ – среднее содержание танинов; %; S_x – ошибка среднего; F – критерий Фишера; p – доверительная вероятность (уровень принятия нулевой гипотезы – 0,05)

Note: $\bar{X}$ – mean tannin content, %; S_x – error of the mean; F – F -test; p – confidence probability (the acceptance level of the null hypothesis is 0.05)

**Рисунок.** Регрессионная зависимость содержания танинов в семенах от содержания антоциана в вегетативной массе бобов конских**Figure.** Regression dependence of tannin content in seeds on the content of anthocyanin in the vegetative biomass of faba beans

Обсуждение

Морфологические маркеры (выявляемые на уровне фенотипа организма) в основной своей массе – мутантные рецессивные формы различных генов или их аллелей (чаще всего это точечные мутации на уровне отдельных нуклеотидов). Значительный интерес для генетико-селекционных исследований имеют мутантные линии с генами, проявляющимися на ранних стадиях развития и находящимися в одной группе сцепления. Многие из этих маркеров генетически сцеплены с важными хозяйственно значимыми и агрономическими признаками, что позволяет значительно удешевить и упростить получение новых генетически и селекционно значимых форм (Chesnokov et al., 2020).

Исследованное нами наличие антоцианового окрашивания у проростков, которое потом присутствует и на стебле растущего растения, – самое раннее проявление признака, положительно коррелирующего с содержанием танинов в семенах бобов ($r = 0,79$).

По литературным данным, фенотипическими характеристиками – возможными морфологическими маркерами низкотаниновых форм – предлагают считать окрашенные экстрафлоральные нектарники и окраску семенной оболочки (Weins, 2016).

Установленные корреляции, а также сопряженность абсолютных значений биохимических признаков с наличием темного пятна на прилистниках и наличия антоциана на проростках позволяют считать последние морфологическими маркерами высокой концентрации танинов в семенах бобов.

Окраска семенной кожуры и окраска рубчика также могут быть маркерами количества танинов в растении, так как семена категории *albus* и светлой подгруппы категории *lateritius* со светлым рубчиком, как показано в нашей работе, имеют низкое содержание танинов. При подборе исходного материала для селекции низкотаниновых сортов эти признаки могут быть изначально ориентирами.

Проанализированные признаки, рекомендуемые в качестве маркеров, ценны тем, что они видны на самых ранних этапах развития (антоцианы) или чуть позднее (нектарник), но в любом случае до цветения, когда визуализируется известный маркер низкого содержания танинов – отсутствие пигментации лепестков.

Выявленные маркеры отражают особенности синтеза фенольных соединений, к которым относятся танины и антоцианы, у разных генотипов.

Мутации *zt-1* и *zt-2* прерывают биосинтез антоцианов на разных стадиях, что, по данным ряда исследователей, приводит к практически полному отсутствию танинов в семенной оболочке и белоцветковому фенотипу (Bond, 1976; Cabrera, Martin, 1986). В нашем исследовании не отмечено образцов с полным отсутствием танинов – их небольшое количество присутствует даже у светлосемянных форм из категории *albus*. В литературе имеются сведения, что у идентифицированных генотипов *zt-1* и *zt-2* также зафиксировано небольшое количество танинов (Oomah et al., 2011).

Нужно заметить, что окраска семенной кожуры бобов определяется целым набором флавоноидов, а именно флавоноидных агликонов. Мирицетин преобладает над кверцетином в бежевых, черных, коричневых, зеленых, красных и фиолетовых семенах. Белые семена со-

держат только следовые количества кверцетина и кемпферола и являются единственными, в которых нет проантоцианидинов, определяющих последующее потемнение семенной оболочки у бобовых. Антоцианы присутствуют только в фиолетовых семенах и, очевидно, определяют эту окраску. Темные цвета черных, коричневых и красных семян, по-видимому, являются результатом неидентифицированных полимеров (Nozzolillo et al., 1989). Последнее обстоятельство, то есть возможное наличие других пигментов-фитомеланинов помимо антоцианов в темной (*pigum*) семенной кожуре бобов, возможно, и объясняет факт невысокого содержания танинов в образцах 'Русские черные' по сравнению с сортом 'Вировские овощные' с темно-бежевой окраской (*lateritius* темный) (0,60 vs 0,78 танины и 21,99 vs 23,85 антоцианы).

Отсутствие темной окраски в железистых волосках экстрафлоральных нектарников низкотаниновых образцов бобов, как показано в исследовании D. J. Weins (2016), не влияет на качество нектара и на аттракцию тех видов насекомых, которые им питаются.

Таким образом, сочетание светлой семенной оболочки, отсутствия пигментации на лепестках, антоцианов на проростках, пигментированного прилистникового нектарника и низкого содержания фенольных соединений – танинов и антоцианов в растениях бобов конских свидетельствует о возможности использовать перечисленные фенотипические характеристики в качестве морфологических маркеров низкотаниновых генотипов.

Отмеченное нами отсутствие связи между размером семян и содержанием танинов согласуется с данными ученых A. Cabrera и A. Martin (1986). И крупносемянные, и мелкосемянные образцы отличаются большой изменчивостью по содержанию танинов.

Проанализированные нами признаки позволяют распознавать низкотаниновые генотипы уже на стадии проростков по отсутствию в них антоцианов, по отсутствию темноокрашенного экстрафлорального нектарника на прилистниках при формировании 3-4-го узлов. Кроме того, наличие связи светлой оболочки семян и низкого содержания в таких семенах танинов дает основание считать, что этот признак также может быть изначальным ориентиром для подбора низкотаниновых генотипов в течение довольно длительного времени после уборки при адекватном хранении семян. Хорошо известно, что семена многих зернобобовых (бобы, фасоль, чечевица, вigna) темнеют со временем. Полагают, что происходят полимеризация фенольных соединений в нерастворимые высокомолекулярные коричневые соединения и окислительная деградация некоторых из них (Marquardt et al., 1978; Nozzolillo, de Beza, 1984). Скорость этого процесса очень зависима от таких факторов хранения, как высокая температура (выше 25°C), высокая влажность семян (выше 8%), высокая освещенность (Nasar-Abbasa et al., 2009). При хранении при 5°C в темноте и влажности семян ниже 12% послеуборочная окраска оболочки сохраняется даже через 12 месяцев. Сохранению светлой окраски способствует и низкая концентрация кислорода в хранилищах (Black, Brouwer, 1998). Однако при наличии в оболочке минимального количества танинов семена не темнеют. Поэтому в качестве исходного материала для селекции низкотаниновых генотипов бобов можно ориентироваться на образцы со светлой (особенно *albus*) окраской семян.

Заключение

Впервые в коллекции бобов конских ВИР осуществлена попытка биохимической валидации морфологического маркера низкого содержания танинов в семенах – отсутствия пигментации на лепестках, а также поиска связей между концентрацией этих антипитательных веществ и другими проявлениями присутствия фенольных соединений в органах растения. Выявлена высокая положительная корреляция между содержанием танинов и антоцианов. На основании этого предполагается, что морфологическими маркерами низкого содержания танинов в растениях бобов могут также служить: отсутствие антоцианов в проростках, отсутствие темноокрашенного экстрафлорального нектарника на прилистниках, светлая окраска семенной кожуры. У растений с такими фенотипами содержание танинов в 2-3 раза ниже, чем при альтернативном проявлении этих признаков. Ценность подобного рода маркеров – в проявлении признака до цветения, а именно на стадии проростков или развития 3-4-го узлов. Это позволит вести поиск нужного материала в поле, к примеру, как компонента скрещивания. Тем не менее при соответствующем хранении семян (низкие значения температуры, влажности семян, освещенности, концентрации кислорода в хранилищах) их светлая оболочка в течение длительного времени тоже может служить признаком низкотаниновых генотипов.

References/Литература

- Biddle A.J. Peas and beans. Wallingford: CAB International; 2017.
- Black R.G., Brouwer J.B. Effect of storage conditions over 12 months on the 437 colour of faba beans (*Vicia faba* L.). In: *Opportunities for High Quality, Healthy and Added 438 Value Crops to Meet European Demands. Proceedings of the 3rd European Conference on Grain Legumes; Valladolid, Spain; 14–19 Nov. 1998*. Valladolid; 1998. p.112-123.
- Bond D.A. *In vitro* digestibility of the testa in tannin-free field beans (*Vicia faba* L.). *The Journal of Agricultural Science*. 1976;86(3):561-566. DOI: 10.1017/S0021859600061104
- Bond D.A., Smith D.B. Possibilities for the reduction of antinutritional factors in grain legumes by breeding. In: *Recent Advances of Research in Antinutritional Factors in Legume Seeds*. Wageningen: Pudoc; 1989. p.285-296.
- Cabrera A., Martin A. Variation in tannin content in *Vicia faba* L. *The Journal of Agricultural Science*. 1986;106(2):377-382. DOI: 10.1017/S0021859600063978
- Chesnokov Y.V., Kosolapov I.V., Savtchenko I.V. Morphological genetic markers in plants. *Russian Journal of Genetics*. 2020;56(12):1406-1415. DOI: 10.1134/S1022795420120042
- Crofts H.J., Evans L.E., McVetty P.B. Inheritance, characterization and selection of tannin-free fababeans (*Vicia faba* L.). *Canadian Journal of Plant Science*. 1980;60(4):1135-1140. DOI: 10.4141/cjps80-165
- Duc G., Marget P., Esnault R., Le Guen J., Bastianelli D. Genetic variability for feeding value of faba bean seeds (*Vicia faba*): Comparative chemical composition of isogenics involving zero-tannin and zero-vicine genes. *The Journal of Agricultural Science*. 1999;133(2):185-196. DOI: 10.1017/S0021859699006905
- Duranti M. Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia*. 2006;77(2):67-82. DOI: 10.1016/j.fitote.2005.11.008
- 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).
- Goyal R.D. Breeding behaviour of anthocyanin pigmentation in flower and stem of broad beans (*Vicia faba* L.). *Science and Culture*. 1965;31:147-148.
- Gutierrez N., Torres A.M. Characterization and diagnostic marker for *TG1* regulating tannin and anthocyanin biosynthesis in faba bean. *Scientific Reports*. 2019;9(1):16174. DOI: 10.1038/s41598-019-52575-x
- Heneidak S., Hassan A.E. Morphological and anatomical studies of floral and extrafloral nectaries in some *Vicia* taxa (Fabaceae). *International Journal of Botany*. 2007;3(4):329-341. DOI: 10.3923/ijb.2007.329.341
- Jenson A. Fodder beans – a valuable forage crop. In: *Fodder Beans Abroad: Collection of Translations*. N.A. Maysuryan (ed.). Moscow: Selkhozizdat; 1962. p.9-13. [in Russian] (Енсон А. Кормовые бобы – ценная кормовая культура. В кн.: *Кормовые бобы за рубежом: Сборник переводов* / под ред. Н.А. Майсурия. Москва: Сельхозиздат; 1962. С.9-13).
- Marquardt R.R., Ward A.T., Evans L.E. Comparative properties of tannin-free and tannin-containing cultivars of faba beans (*Vicia faba*). *Canadian Journal of Plant Science*. 1978;473(58):753-760. DOI: 10.4141/cjps78-111
- Metz P.L.J., Buil A.A.M., van Norel A. Rate and inheritance of cross-fertilization in faba bean (*Vicia faba* L.). *Euphytica*. 1992;66:127-133. DOI: 10.1007/BF00023517
- Mishchenko P.I. Scale of colors. A manual for botanists and zoologists in scientific and applied research. In: P.A. Saccardo. *Chromotaxia seu nomenclator colorum polyglottus additis speciminibus coloratis ad usum botanicorum et zoologorum. Proceedings of the Bureau of Applied Botany of the Scientific Committee of the Ministry of Agriculture*. 1915; Suppl 15. [in Russian] (Мищенко П.И. Шкала цветов. Пособие для ботаников и зоологов при научных и научно-прикладных работах. В кн.: Саккардо П.А. *Chromotaxia seu nomenclator colorum polyglottus additis speciminibus coloratis ad usum botanicorum et zoologorum. Труды Бюро по прикладной ботанике Ученого комитета Министерства земледелия*. 1915; Приложение 15).
- Muratova V.S., Common beans (*Vicia faba* L.). *Bulletin of Applied Botany, of Genetics and Plant Breeding*. 1931; Suppl 50:1-298.
- Nasar-Abbasa S.M., Siddique K.H.M., Plummera J.A., Whitee P.F., Harrisf D., Dods K. et al. Faba bean (*Vicia faba* L.) seeds darken rapidly and phenolic content falls when stored at higher temperature, moisture and light intensity. *LWT – Food Science and Technology*. 2009;42(10):1703-1711. DOI: 10.1016/j.lwt.2009.05.013
- Nozzolillo C., de Bezada M. Browning of lentil seeds, concomitant loss of viability, and the possible role of soluble tannins in both phenomena. *Canadian Journal of Plant Science*. 1984;64(4):815-824. DOI: 10.4141/cjps84-113
- Nozzolillo C., Ricciardi L., Lattanzio V. Flavonoid constituents of seed coats of *Vicia faba* (Fabaceae) in relation to genetic control of their color. *Canadian Journal of Botany*. 1989;67(5):1600-1604. DOI: 10.1139/b89-200
- Oomah B.D., Luc G., Leprelle C., Drover J.C.G., Harrison J.E., Olson M. Phenolics, phytic acid, and phytase in

- Canadian-grown low-tannin baba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011;59(8):3763-3771. DOI: 10.1021/jf200338b
- Picard J. Aperçu sur l'héritage du caractère absence de tanins dans les graines de féverole (*Vicia faba* L.). *Annales de l'Amélioration des Plantes*. 1976;26:101-106. [in French]
- Razarenova K.N., Zhokhova E.V. Comparative assessment of the content of tannins in some species of the genus *Geranium* L. in the flora of the Northwest (Sравnitelnaya otsenka soderzhaniya dubilnykh veshchestv v nekotorykh vidakh roda *Geranium* L. flory Severo-Zapada). *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2011;(4):187-192. [in Russian] (Разарёнова К.Н., Жохова Е.В. Сравнительная оценка содержания дубильных веществ в некоторых видах рода *Geranium* L. флоры Северо-Запада. *Химия растительного сырья*. 2011;(4):187-192).
- Smirnova-Ikonnikova M. I. Protein content and quality in grain legume crops (Soderzhaniye i kachestvo belka u zernovykh bobovykh kultur). *Vestnik selskokhozyaystvennoy nauki = Bulletin of Agricultural Science*. 1962;(7):40-52. [in Russian] (Смирнова-Иконникова М.И. Содержание и качество белка у зерновых бобовых культур. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1962;(7):40-52).
- Vishnyakova M.A., Seferova I.V., Buravtseva T.V., Burlayeva M.O., Semenova E.V., Filipenko G.I., Aleksandrova T.G., Egorova G.P., Yankov I.I., Bulyntsev S.V., Gerasimova T.V., Drugova E.V. VIR global collection of grain legume crop genetic resources: replenishment, conservation and studying: (guidelines). 2nd ed. M.A. Vishnyakova (ed.). St. Petersburg: VIR; 2018. [in Russian] (Вишнякова М.А., Сеферова И.В., Буравцева Т.В., Бурляева М.О., Семенова Е.В., Филипенко Г.И., Александрова Т.Г., Егорова Г.П., Яньков И.И., Булыntsev С.В., Герасимова Т.В., Другова Е.В. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение: (методические указания). 2-е изд. / под ред. М.А. Вишняковой. Санкт-Петербург: ВИР; 2018). DOI: 10.30901/978-5-905954-79-5
- Weins D.J. The influence of tannins on the extrafloral nectar characteristics and insect mutualists in *Vicia faba* [dissertation]. Saskatoon: University of Saskatchewan; 2016.
- Woyengo T.A., Nyachoti C.M. Ileal digestibility of amino acids for zero-tannin faba bean (*Vicia faba* L.) fed to broiler chicks. *Poultry Science*. 2012;91(2):439-443. DOI:10.3382/ps.2011-01678
- Wu X., Beecher G.R., Holden J.M., Haytowitz D.B., Gebhardt S.E., Prior R.L. Concentrations of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006;54(11):4069-4075. DOI: 10.1021/jf060300l

Информация об авторах

Сейдханым Мирмагомедовна Мамедова, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, s.mamedova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2238-4714>

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, porovitaly@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

Алла Евгеньевна Соловьева, 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, alsol64@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>

Ирина Николаевна Перчук, 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, i.perchuk@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6568-5248>

Леонид Леонидович Малышев, 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, l.malyshev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8595-1336>

Маргарита Афанасьевна Вишнякова, 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, m.vishnyakova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2808-7745>

Information about the authors

Seidkhanym M. Mamedova, Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, s.mamedova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2238-4714>

Vitaly 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>

Alla E. Solovyeva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, alsol64@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>

Irina N. Perchuk, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, i.perchuk@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6568-5248>

Leonid L. Malyshev, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, l.malyshev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8595-1336>

Margarita A. Vishnyakova, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, m.vishnyakova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2808-7745>

Вклад авторов: Мамедова С.М. – идея, постановка эксперимента, участие в биохимическом анализе, анализ литературы по теме исследования, подготовка чернового варианта рукописи; Попов В.С. – постановка биохимического эксперимента по определению танинов в семенах; Соловьева А.Е. – постановка биохимического эксперимента по определению антоцианов в вегетативной массе; Перчук И.Н. – определение белка в семенах; Малышев Л.Л. – статистическая обработка полученных данных; Вишнякова М.А. – концепция, анализ литературы по теме исследования, анализ экспериментальных данных, подготовка чистового варианта рукописи, обсуждения и выводов, подготовка рукописи после рецензирования.

Contribution of the authors: Mamedova S.M. – idea, experimental design, participation in biochemical analysis, analysis of the literature on the research topic, preparation of a draft version of the manuscript; Popov V.S. – biochemical experiment to determine tannins in seeds; Solovyeva A.E. – biochemical experiment to determine anthocyanins in the vegetative biomass; Perchuk I.N. – determination of protein in seeds; Malyshev L.L. – statistical processing of the data obtained; Vishnyakova M.A. – concept, analysis of the literature on the research topic, analysis of experimental data, preparation of the final version of the manuscript, discussion and conclusions, preparation of the manuscript after peer review.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 15.08.2022; одобрена после рецензирования 10.10.2022; принята к публикации 02.03.2023.
The article was submitted on 15.08.2022; approved after reviewing on 10.10.2022; accepted for publication on 02.03.2023.

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК: 633.11: 631.527:632.4

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-205-214



Эффективные источники устойчивости яровой мягкой пшеницы к мучнистой росе для северо-запада России

Т. В. Лебедева, А. Н. Брыкова, Е. В. Зуев

*Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия***Автор, ответственный за переписку:** Евгений Валерьевич Зуев, e.zuev@vir.nw.ru

Актуальность. Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – одна из основных продовольственных культур в мире. В Российской Федерации валовые сборы культуры в последние годы достигали 21,079 млн тонн. Одним из самых вредоносных заболеваний мягкой пшеницы является мучнистая роса. Сырой и прохладный климат северо-запада России провоцирует появление мучнистой росы на посевах зерновых практически ежегодно. Создание устойчивых к болезни сортов яровой мягкой пшеницы является наиболее экономичным и экологически безопасным направлением в селекции. Успех селекции определяют изучение источников устойчивости к болезни и интрогрессия новых генов в перспективные сорта пшеницы. Цель работы – проверить ювенильную и взрослую устойчивость к мучнистой росе образцов яровой мягкой пшеницы, выделенных за более чем двадцатилетний период, и определить эффективность источников устойчивости к патогену в настоящее время.

Материал и методы. С 2000 г. в отделе генетики совместно с отделом генетических ресурсов пшеницы ВИР проведен поиск источников устойчивости к мучнистой росе среди 1283 образцов яровой мягкой пшеницы. Выявленные 36 источников взрослой и проростковой устойчивости к мучнистой росе были повторно оценены в 2022 г. Исследования проводили согласно методическим указаниям ВИР.

Результаты и обсуждение. В 2022 г. полевое и лабораторное изучение сортов пшеницы выявило образцы, устойчивые к патогену на всех фазах развития. Уставлено, что 6 образцов сохраняют устойчивость к мучнистой росе в течение 13–22 лет, 6 образцов устойчивы к болезни на протяжении 7–12 лет, 8 сортов устойчивы в течение 6 лет. Подтверждена устойчивость 9 образцов, выявленных в 2020 г.

Заключение. Полевые и лабораторные исследования выявили образцы яровой мягкой пшеницы, сохраняющие ювенильную и взрослую устойчивость к ленинградской популяции возбудителя мучнистой росы в течение 7 и более лет. Данные источники устойчивости рекомендуются для использования в селекционных программах по улучшению пшеницы.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., сорт, линия, патоген, восприимчивость к *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, устойчивость взрослого растения, ювенильная устойчивость

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2022-0001 «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: Лебедева Т.В., Брыкова А.Н., Зуев Е.В. Эффективные источники устойчивости яровой мягкой пшеницы к мучнистой росе для северо-запада России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):205-214. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-205-214

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-205-214

Effective sources of powdery mildew resistance among spring bread wheat for the northwest of the Russian Federation

Tatiana V. Lebedeva, Alla N. Brykova, Evgeny V. Zuev

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

Corresponding author: Evgeny V. Zuev, e.zuev@vir.nw.ru

Background. Bread wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the world's main food crops. In Russia, its gross harvest in recent years has reached 21.079 million tons. *Blumeria graminis* is one of the most harmful diseases of bread wheat. Annual harvest losses can reach 10–30%. In Leningrad Province, powdery mildew appears almost every year on cereals. Development of cultivars resistant to powdery mildew is the most important trend in spring bread wheat breeding. Its progress is determined by new sources of effective resistance genes and their incorporation into promising spring bread wheat cultivars. The purpose of this work was to retest the seedling and adult resistance to powdery mildew in spring bread wheat accessions selected over a period of more than twenty years and redefine the effectiveness of disease resistance sources at the present time.

Materials and methods. Since 2000, VIR has conducted a search for powdery mildew resistance among 1283 spring bread wheat accessions. The identified 36 sources of adult and seedling powdery mildew resistance were reevaluated in 2022. Field and laboratory studies into the resistance to the pathogen were performed according to VIR's guidelines.

Results and discussion. In 2022, field and laboratory studies of spring bread wheat cultivars revealed accessions with resistance to the pathogen in all phases of plant development. Six sources remained resistant to powdery mildew for 13–22 years, another six showed resistance for 7–12 years, and 8 cultivars were immune for 6 years. Resistance of 9 accessions identified for this trait in 2020 was confirmed.

Conclusion. Field and laboratory research into the resistance of spring bread wheat accessions to the pathogen identified sources retaining seedling and adult resistance to the Leningrad population of powdery mildew for 7 years or more. These accessions are recommended for use in wheat breeding programs.

Keywords: *Triticum aestivum* L., cultivar, line, pathogen, susceptibility to *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, resistance of adult plants, seedling resistance

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state tasks according to the theme plan of VIR, Project No. 0481-2022-0001 "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: Lebedeva T.V., Brykova A.N., Zuev E.V. Effective sources of powdery mildew resistance among spring bread wheat for the northwest of the Russian Federation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):205-214. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-205-214

Введение

Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) является основной продовольственной культурой в Российской Федерации. По данным Росстата, яровая мягкая пшеница в РФ занимала в 2021 г. 13,1 млн га, что составляет 18,6% от посевных площадей всех сельскохозяйственных культур и 29,1% – от зерновых. Валовые сборы культуры в последние годы достигали 21,079 млн т (18% от зерновых культур и 9,4% от всей продукции растениеводства) (<https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13226>).

Заболевание пшеницы мучнистой росой вызывает биотрофный гриб *Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Marchal. Ежегодные потери урожая могут достигать 10–15%, а в годы эпифитотий – 30% (Conner et al., 2003). Болезнь встречается во многих районах с прохладным, влажным климатом. В Северо-Западном регионе России мучнистая роса проявляется на посевах пшеницы практически ежегодно.

Создание новых сортов, характеризующихся устойчивостью к *B. graminis*, является наиболее экономичным и экологически безопасным способом защиты пшеницы. Способность фитопатогенных грибов образовывать новые агрессивные биотипы как вегетативным, так и половым путем требует постоянного мониторинга вирулентности популяций гриба, а также поиска новых эффективных генов устойчивости к болезни и интрогрессии их в перспективные сорта мягкой пшеницы. Начиная с 2000 г. все новые образцы, поступившие в коллекцию яровой мягкой пшеницы Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), оценивают по устойчивости к мучнистой росе. Ежегодно выделяются устойчивые в условиях России формы (линии), которые используются в селекционных программах. При составлении оценочной базы по устойчивости яровой мягкой пшеницы к мучнистой росе возникла идея проверить лучшие образцы, чтобы узнать, как долго можно использовать устойчивые образцы в селекционном процессе и других исследованиях.

Целью работы было оценить ювенильную и взрослую устойчивость к мучнистой росе образцов яровой мягкой пшеницы, выделенных за более чем двадцатилетний период, и определить их эффективность в настоящее время.

Материалы и методы

С 2000 г. в отделе генетики совместно с отделом генетических ресурсов пшеницы ВИР проведен поиск устойчивых к мучнистой росе форм среди 1283 образцов яровой мягкой пшеницы из 59 стран. В основном это сорта и линии из России (452 образца), Китая (107), Канады (71), Австралии (62), Казахстана (50), Германии (39), США (36), Пакистана (32), Украины (31), Турции (31), Польши (21) и Швеции (19).

В результате скрининга было выделено 36 образцов яровой мягкой пшеницы, устойчивых к мучнистой росе как на стадии проростков в лаборатории, так и обладающих устойчивостью к природной популяции гриба в условиях Ленинградской области. За период 2000–2009 гг. выявлены сорта: 'Экскалбур' (к-64211), 'Ангас' (к-64212), 'Каскадес' (к-64214) из Австралии; 'Аранка' (к-64277, Чехия); 'СВ Валс' (к-64433), 'СВ Милджет' (к-64434), 'СВ Эстрад' (к-64435), 'СВ Винджет' (к-64436) из Швеции; 'Лютесценс 13' (к-64649), '485ae5' (к-64656), 'Лютесценс 393ae9-1' (к-64657) из Самарской области РФ.

В 2010–2015 гг. устойчивыми к болезни были: 'Сабле' (к-65461, Канада); 'Струна Мироновская' (к-65016), 'Вышиванка' (к-65257) из Украины; 'Воевода' (к-64997), 'Фаворит' (к-64998) из Саратовской области РФ; 'Мерцана' (к-65449, РФ, Тамбовская обл.), 'Тулайковская 110' (к-65454, РФ, Самарская обл.). В 2016–2019 гг. устойчивостью к мучнистой росе характеризовались: 'КВС Аквилон' (к-65821, Германия); 'Пастер' (к-66093, Нидерланды), 'Калисперо' (к-66393, Франция); 'СВ Кунгсджет' (к-66036), 'СВ Кронджет' (к-66097), 'Боейт' (к-66353) из Швеции; 'Новосибирская 61' (к-66346, РФ, Новосибирская обл.); 'Архат' (к-66406, РФ, Пензенская обл.); 'Лебедушка' (к-66410, РФ, Саратовская обл.). В 2020 г. зарегистрированы источники резистентности к болезни: 'Ванек' (к-67080), 'КВС Коллада' (к-67087) из Германии; 'Арабеска' (к-67093), 'Мандарына' (к-67096), 'Арабелла' (к-67159) из Польши; 'Баталь' (к-67116), 'Стилтт' (к-67119), 'Хеппи' (к-67247) из Швеции.

В 2022 г. у всех упомянутых выше образцов повторно оценили ювенильную и взрослую устойчивость к популяции возбудителя мучнистой росы.

Ювенильную оценку устойчивости проводили в лабораторных условиях согласно методическим указаниям ВИР (Krivchenko et al., 2008). Показателями реакции на заражение растений грибом являлись интенсивность спороношения и качественные изменения тканей растений. К классу устойчивых относили растения, поражение которых отсутствовало или не превышало 1 балл, умеренно устойчивых – 2 балла, восприимчивых – 3 и 4 балла (Mains, Dietz, 1930). Образцы, поражение растений которых составляло 0–2 балла, проверяли трехкратно.

Устойчивость образцов пшеницы в фазах колошения и цветения изучали на экспериментальном поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (ППЛ ВИР, Санкт-Петербург) по методике отдела генетики (Krivchenko et al., 2008). Поражение устойчивых образцов не превышало одного балла; поражение восприимчивых образцов составляло 3 и 4 балла; балл 2 характеризовал умеренную устойчивость растений. В опытах использовали общепринятую агротехнику возделывания яровой мягкой пшеницы. Образцы высевали в оптимальные сроки на делянках 1 м². Стандартными сортами были 'Диамант' (к-25019) и 'Сибирка Ярцевская' (к-38587) (восприимчивые к мучнистой росе сорта, балл 4).

Результаты и обсуждение

Распределение образцов пшеницы по реакции на заражение *B. graminis* в ювенильной фазе показало, что для подавляющего большинства изученных образцов (90,6%) характерен восприимчивый тип реакции (баллы 3 и 4), то есть эти сорта не содержат эффективных генов устойчивости к данной популяции гриба. Лишь 2,8% образцов оказались устойчивыми (баллы 0 и 1) и 6,6% – умеренно устойчивыми (балл 2) (рисунок).

Результаты изучения ювенильной устойчивости к мучнистой росе образцов яровой мягкой пшеницы новых поступлений за 2004–2009 гг., 2010–2015 гг. и 2016–2020 гг. показали сходное распределение образцов по реакции на заражение патогеном. Так, по результатам анализа 2004–2009 гг. среди 306 изученных сортов 3,92% оказались устойчивыми (баллы 0–1), 1,96% – умеренно устойчивыми (балл 2) и 94,12% – восприимчивыми (баллы 3 и 4); в 2010–2015 гг. из 277 вновь поступивших образцов 2,53% были устойчивы (баллы 0–1), 3,25% – уме-

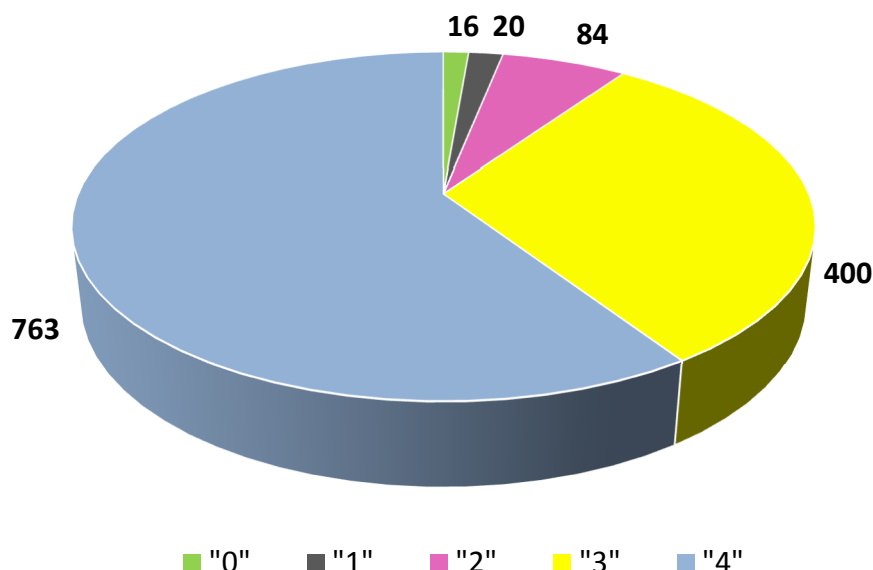


Рисунок. Распределение образцов пшеницы по реакции на заражение *Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Marchal (0, 1, 2, 3, 4 – баллы устойчивости)

Figure. Distribution of spring bread wheat accessions according to their response to the infection with *Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Marchal (0, 1, 2, 3 and 4: resistance score)

ренно устойчивы (балл 2), 94,22% оказались восприимчивыми (баллы 3 и 4); в 2016–2020 гг. среди 337 образцов из новых поступлений 2,67% были устойчивы (баллы 0–1), 6,23% – умеренно устойчивы (балл 2) и 91,10% – восприимчивы (баллы 3 и 4). Информация об устойчивости образцов опубликована в каталогах ВИР (Tyryshkin et al., 2009; Tyryshkin et al., 2015; Tyryshkin et al., 2020).

Результаты эксперимента в 2022 г. показали, что австралийские сорта 'Экскалибур', 'Ангас', 'Каскадес' потеря-

ли устойчивость к мучнистой росе как в проростках, так и на поздних стадиях развития. У сорта 'Аранка' из Чехии наблюдали восприимчивость проростков (балл 3). Умеренной устойчивостью характеризовались образцы 'Лютесценс 13' и 'Струна Мироновская'. В стадии колошения отмечали умеренную устойчивость (балл 2) сортов 'СВ Кунгсджет' (Швеция) и 'Ванек' (Германия). Остальные сорта яровой мягкой пшеницы, выделенные в 2000–2021 гг., сохранили устойчивость к болезни на всех фазах роста в 2022 г. (таблица).

Таблица. Результаты оценки ювенильной (ЮУ) и взрослой (ВУ) устойчивости образцов яровой мягкой пшеницы к популяции *Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Marchal

Table. Results of testing spring bread wheat accessions for their seedling and adult resistance to the *Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Marchal population

№ по каталогу ВИР, образец, происхождение	Результаты первой оценки при поступлении в коллекцию ВИР		Результаты оценки в 2022 г.		В какой период выделены
	ЮУ, балл	ВУ, балл	ЮУ, балл	ВУ, балл	
к-64211, Экскалибур, Австралия	1	0	4	3	2000–2009
к-64212, Ангас, Австралия	1	0	4	3	2000–2009
к-64214, Каскадес, Австралия	1	0	4	3	2000–2009
к-64277, Аранка, Чехия	0	0	3	1	2000–2009
к-64433, СВ Валс, Швеция	0	0	0	1	2000–2009

Таблица. Продолжение

Table. Continued

№ по каталогу ВИР, образец, происхождение	Результаты первой оценки при поступлении в коллекцию ВИР		Результаты оценки в 2022 г.		В какой период выделены
	ЮУ, балл	ВУ, балл	ЮУ, балл	ВУ, балл	
к-64434, СВ Милджет, Швеция	0	0	0	1	2000–2009
к-64435, СВ Эстрад, Швеция	0	0	1	0	2000–2009
к-64436, СВ Винджет, Швеция	1	0	1	0	2000–2009
к-64649, Лютесценс 13, РФ, Самарская обл.	0	0	2	–	2000–2009
к-64656, 485ae5, РФ, Самарская обл.	0	0	0	0	2000–2009
к-64657, Лютесценс 393ae9-1, РФ, Самарская обл.	1	0	1	0	2000–2009
к-64997, Воевода, РФ, Саратовская обл.	0	0	0	0	2010–2015
к-64998, Фаворит, РФ, Саратовская обл.	0	0	0	0	2010–2015
к-65016, Струна Мироновская, Украина	1	0	2	1	2010–2015
к-65257, Вышиванка, Украина	0	0	0	0	2010–2015
к-65449, Мерцана, РФ, Тамбовская обл.	1	0	1	0	2010–2015
к-65454, Тулайковская 110, РФ, Самарская обл.	0	0	0	0	2010–2015
к-65461, Сабле, Канада	1	0	1	0	2010–2015
к-65821, КВС Аквилон, Германия	0	0	0	0	2016–2019
к-66036, СВ Кунгсджет, Швеция	1	0	1	2	2016–2019
к-66093, Пастер, Нидерланды	1	0	1	0	2016–2019

Таблица. Окончание

Table. The end

№ по каталогу ВИР, образец, происхождение	Результаты первой оценки при поступлении в коллекцию ВИР		Результаты оценки в 2022 г.		В какой период выделены
	ЮУ, балл	ВУ, балл	ЮУ, балл	ВУ, балл	
к-66097, СВ Кронджет, Швеция	1	0	1	0	2016–2019
к-66346, Новосибирская 61, РФ, Новосибирская обл.	1	0	1	1	2016–2019
к-66353, Боетт, Швеция	0	0	1	1	2016–2019
к-66393, Калисперо, Франция	1	0	1	0	2016–2019
к-66406, Архат, РФ, Пензенская обл.	1	0	1	0	2016–2019
к-66410, Лебедушка, РФ, Саратовская обл.	1	0	1	0	2016–2019
к-67080, Ванек, Германия	1	0	1	2	2020
к-67087, КВС Коллада, Германия	0	0	1	1	2020
к-67093, Арабеска, Польша	1	0	1	0	2020
к-67096, Мандарына, Польша	1	0	1	0	2020
к-67116, Баталь, Швеция	0	0	0	1	2020
к-67119, Стилетт, Швеция	1	0	0	1	2020
к-67159, Арабелла, Польша	0	0	0	1	2020
к-67247, Хеппи, Швеция	0	0	1	1	2020
к-67425, Тулайковская 117, РФ, Самарская обл.	1	0	1	1	2021

Среди 11 образцов, выявленных в 2000–2009 гг., потеряли устойчивость к мучнистой росе 5 сортов (45,5%); из 7 образцов, выявленных в 2010–2015 гг., только один (14,3%) оказался умеренно устойчивым; все образцы, оцененные в 2016–2021 гг., сохранили устойчивость к болезням.

По результатам исследования можно сделать вывод, что источники устойчивости яровой мягкой пшеницы сохраняют свою эффективность против популяции гриба примерно в течение 7 лет с момента включения в коллекцию ВИР. Среди образцов, оцененных в последние 8–22 года как устойчивые, уже выявлены неустойчивые формы.

В ВИР образец считается источником ценного для селекции признака только с момента его выявления по результатам изучения, что совпадает с датой включения в коллекцию ВИР. Для российских сортов год включения в коллекцию и год реализации (включение в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории России) практически тождествен, разница составляет 1–2 года: сорт 'Воевода' районирован в 2007 г., в коллекцию включен в этом же году; 'Фаворит' районирован в 2007 г., в коллекцию включен в 2008 г.; 'Тулайковская 110' районирован в 2013 г., в коллекцию включен в 2015 г.; 'Архат' включен в коллекцию в 2017 г., районирован в 2015 г. Долго не поступал в коллекцию сорт 'Лебедушка': районирован в 2009 г., а каталогизирован в 2016 г. Для зарубежных сортов разница между годом начала коммерческого использования и годом каталогизации может достигать 22 года: шведский сорт 'Баталь' реализован в 1997 г., а в коллекцию ВИР включен только в 2019 г. В среднем зарубежные сорта каталогизируют в ВИР на 7 лет позже начала их коммерческого выращивания.

Потеря эффективности ранее выделенных источников резистентности к болезни является следствием изменения состава клонов с определенными генами вирулентности в популяции *B. graminis* в ППЛ ВИР. Так, в 1970–1980 гг. популяция гриба стала поражать сорта с генами устойчивости *Pm1a*, *Pm2*, *Pm3a-c*, *Pm4a*, *Pm8*. С 1990-х годов начали появляться клоны гриба, способные инфицировать сорта с аллелями *Pm3d*, *Pm6*, *Pm7*, *Pm17*. В период 2003–2009 гг. гены *Pm3f*, *Pm12*, *Pm16*, *Pm19* продолжали предохранять сорта яровой мягкой пшеницы от заражения патогеном. В настоящее время в популяции присутствуют клоны, вирулентные к генам устойчивости *Pm1a*, *Pm2*, *Pm3a-d*, *Pm4a*, *Pm5-Pm9*, *Pm16*, *Pm17*, *Pm19*, *Pm28*, и авирулентные к *Pm12* (Lebedeva, Zuev, 2015).

Эффективный ген устойчивости *Pm12* интрогрессирован в мягкую пшеницу (линия Вембли 14.31) от *Aegilops speltoides* Tausch (McIntosh et al., 2013). Фитопатологический тест показал, что экспрессия генов устойчивости сортов 'Воевода', 'Фаворит', 'Мерцана', 'Тулайковская 110', 'Вышиванка', 'Пастер', 'СВ Валс', 'СВ Милджет', 'СВ Винджет', 'СВ Кронджет', 'Боетт', 'Баталь' сходна с проявлением доминантного гена *Pm12*. По результатам гибридологического анализа установлено, что ювенильная устойчивость данных сортов контролируется моногеном, ген доминантный и отличается от эффективного гена *Pm12*. Гены устойчивости к мучнистой росе сортов шведской селекции отличны от генов устойчивости российских сортов (Lebedeva, Zuev, 2018).

В литературе указана родословная шведского сорта 'СВ Винджет': (Тьялве М14/Тьялве М15//Канон). Сорт 'Канон' является также одним из родителей сорта 'СВ Кронджет' – (Ханно/Авле/Канон – МБ) (Hysing et al.,

2007). Сорт 'Канон' (к-61222) включен в коллекцию ВИР в 1990 г. и до настоящего времени характеризуется устойчивостью к болезни в условиях Ленинградской области (Lebedeva et al., 2020). Устойчивость родительского сорта 'Канон' обеспечивают доминантные аллели генов *Pm1* (хромосома 7AL), *Pm2* (5DS), *Pm3d* (1AS), *Pm4b* (2AL), *Pm6* (2BL) (McIntosh et al., 2013). Аккумуляция нескольких генов резистентности в одном генотипе является стратегией увеличения длительности устойчивости растений к болезням. Включение разных генов устойчивости в один сорт предполагает более надежную защиту от болезни, так как патогену требуются более сложные изменения вирулентности для преодоления генов устойчивости.

Линия 485ae5 имеет в родословной Вембли 14.31, высокую устойчивость которого определяет доминантный ген *Pm12* от *Ae. speltoides*. Невосприимчивость к мучнистой росе 'Лютесценс 393ae9-1' контролирует рецессивный аллель *PmSp*. Устойчивость 'Лютесценс 13' определяет ген *PmKu*, переданный в генотип яровой мягкой пшеницы от *Triticum spelta* subsp. *kuckuckianum* (Syukov et al., 2016). В настоящее время поражение 'Лютесценс 13' в стадии проростков составляет 2 балла.

Сорта яровой мягкой пшеницы 'Воевода' и 'Фаворит', созданные в НИИСХ Юго-Востока, имеют в своих родословных генетический материал *Agropyron elongatum* (Host) P. Beauv. Хромосомное замещение 6D/6Ag1 обеспечивает устойчивость сортов к мучнистой росе. В генотипе сорта 'Лебедушка' сочетается генетический материал от двух видов пырея: *A. elongatum* и *A. intermedium* (Host) P. Beauv. (Krupnov, Sibikeev, 2005).

Сорт 'Тулайковская 110' получен в Самарском НИИСХ им. Н.М. Тулайкова (Syukov et al., 2016). Одним из его родителей является сорт 'Тулайковская 5', в генотипе которого присутствует ген *PmAg1*, переданный от *A. intermedium*.

Устойчивый к мучнистой росе сорт 'Архат' (Ишеевская × Л503), созданный в Пензенском НИИСХ, имеет транслокацию 7DS-7DL-7Ae#1L от *A. elongatum*.

Известна родословная сорта 'Мерцана': (Саратовская 29 × Джустин) × (Воронежская 6 × Жница) × (Воронежская 10 × СФР204). Сорт 'Воронежская 10' (к-64101) характеризуется ювенильной устойчивостью к популяции гриба.

Часто транслокации, помимо потенциально полезных факторов, несут и негативные свойства чужеродного донора, что ограничивает использование их в селекции пшеницы. В данном случае расширение генетической изменчивости у мягкой пшеницы за счет интрогрессии генов от *A. elongatum* и *A. intermedium* позволило создать сорта, для которых характерны устойчивость к мучнистой росе, отсутствие отрицательного влияния чужеродного донора на хозяйственные признаки и высокая продуктивность. Сорта, полученные при помощи отдаленной гибридизации, характеризующиеся высоким потенциалом урожайности, адаптационной ценности и устойчивости к грибным болезням, включают во многие селекционные программы и возделывают на больших площадях.

Гены устойчивости *Pm4b*, *Pm6*, *Pm8* активно использовали для улучшения мягкой пшеницы в XX веке. Так, немецкий сорт 'Weihenstephan M1' (*Pm4b*) участвовал в родословных многих коммерческих сортов Германии, Швеции, Англии (Hsam et al., 2002). Ген *Pm6* интрогрессирован в мягкую пшеницу от тетраплоидной пшеницы *Triticum timopheevii* Zhuk. и широко распространен среди

сортов Европы, Китая и Америки. Примерно 800 сортов пшеницы, несущих генетический материал от *T. timopheevii*, созданы в Германии, Франции и Великобритании. Вирулентные к *Pm6* клоны *B. graminis* не являются редкостью во многих популяциях гриба, однако ген сохраняет эффективность, особенно в комбинациях с генами *Pm2* и *Pm5* (Martynov et al., 2018).

Ген устойчивости *Pm8* идентифицирован в сортах мягкой пшеницы, имеющих пшенично-ржаную транслокацию 1BL.1RS или замещение 1B(1R). Пшенично-ржаные линии участвовали в создании сортов озимой пшеницы 'Аврора', 'Кавказ', 'Предгорная 2' селекции П.П. Лукьяненко (Rabinovich, 1998). Ген *Pm8* контролировал высокий уровень устойчивости к мучнистой росе, но с 1990-х годов уже не обеспечивал защиту растений вследствие увеличения соответствующей вирулентности у патогена (Hsam et al., 2002).

На сегодняшний день у мягкой пшеницы и ее родичей зарегистрировано более 100 аллелей устойчивости к *B. graminis* в 65 локусах (*Pm1–Pm68*), однако лишь немногие из них могут обеспечить резистентность растения к большинству или ко всем изолятам гриба (Zhu et al., 2022). Большинство генов ювенильной устойчивости к болезни связаны с реакцией сверхчувствительности растения. Этот тип устойчивости, как правило, контролируется олигогенами. Программы по селекции часто основаны на интрогрессии в восприимчивые сорта распецифических генов устойчивости, которые могут сравнительно легко преодолеваются в результате накопления в популяции патогена клонов с комплементарными генами вирулентности (Kang et al., 2020). В связи с изменениями, происходящими в популяциях гриба, сорта, ранее характеризовавшиеся устойчивостью, на сегодняшний день оказываются восприимчивы к болезни.

Некоторые интрогрессированные в геном мягкой пшеницы гены определяют устойчивость к мучнистой росе взрослых растений, но не эффективны в фазе проростков, что характерно для *Pm25* (*Triticum boeoticum* Boiss.), *Pm34* и *Pm35* (*Aegilops tauschii* Coss.) (Cowger et al., 2018). Гены *Pm38*, *Pm39* и *Pm46* обеспечивают долговременную устойчивость не только к мучнистой росе, но и к другим болезням (Li et al., 2014). Использование в селекции широкого спектра генов устойчивости очень важно для эффективного контроля болезни на посевах пшеницы.

Заключение

На основе проводимого в отделе генетики ВИР совместно с отделом генетических ресурсов пшеницы скрининга яровой мягкой пшеницы по устойчивости к мучнистой росе ежегодно выявляются источники устойчивости к этому вредоносному заболеванию, которые по заявкам селекционеров и НИУ России рассылаются для использования в селекционных программах. У некоторых образцов изучена генетика признака. Установлено, что все источники, выявленные за последние 7 лет, сохранили ювенильную и взрослую устойчивость к ленинградской популяции *B. graminis* f. sp. *tritici*. Мы рекомендуем с определенной периодичностью (4–5 лет) проверять эффективность ранее выявленных устойчивых образцов. Вместе с тем нами подтверждена устойчивость 12 источников, которые сохраняют ее в течение более 20 лет. Образцы из Швеции, Германии, Канады и Польши в большей степени подходят для введения их в селекционные программы по пшенице на северо-западе России.

References / Литература

- Conner R.L., Kuzyk A.D., Su H. Impact of powdery mildew on the yield of soft white spring wheat cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*. 2003;83(4):725–728. DOI: 10.4141/P03-043
- Cowger C., Mehra L., Arellano C., Meyers E., Murphy J.P. Virulence differences in *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* from Central and Eastern United States. *Phytopathology*. 2018;108(3):402–411. DOI: 10.1094/Phyto-06-17-0211-R
- Federal State Statistics Service: [website]. [in Russian] (Федеральная служба государственной статистики): [сайт]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13226> [дата обращения: 15.04.2022].
- Hsam S.L.K., Zeller F.J. Breeding for powdery mildew resistance in common wheat (*Triticum aestivum* L.). In: R.R. Bélanger, W.R. Bushell, A.J. Dik, T.L.W. Carver (eds). *The Powdery Mildews. A Comprehensive Treatise*. St. Paul, MN: APS press; 2002. p.219–238.
- Hysing S.C., Merker A., Liljeroth E., Koeber R.M.D., Zeller F.J., Hsam S.L.K. Powdery mildew resistance in 155 Nordic bread wheat cultivars and landraces. *Hereditas*. 2007;144(3):102–119. DOI: 10.1111/j.2007.0018-0661.01991.x
- Kang Y., Zhou M., Merry A., Barry K. Mechanisms of powdery mildew resistance of wheat – a review of molecular breeding. *Plant Pathology*. 2020;69(4):601–617. DOI: 10.1111/ppa.13166
- Krivchenko V.I., Lebedeva T.V., Peusha Kh.O. Powdery mildew of cereals. Studying genetic resources of cereal crops for resistance to harmful organisms. Guidelines (Muchnistaya rosa zlakov. Izucheniye geneticheskikh resursov zernovykh kultur po ustoychivosti k vrednym organizmam. Metodicheskoye posobiye). Moscow: Rosselkhozakademiya; 2008. [in Russian] (Кривченко В.И., Лебедева Т.В., Пеуша Х.О. Мучнистая роса злаков. Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. Методическое пособие. Москва: Россельхозакадемия; 2008).
- Krupnov V.A., Sibikeev S.N. The alien genes for improvement of bread wheat (Chuzherodnye geny dlya uluchsheniya myagkoy pshenitsy). In: B.V. Rigin, E.I. Gaevskaya (eds). *Identified plant gene pool and breeding (Identifitsirovanny genofond rasteniy i selektsiya)*. St. Petersburg: VIR; 2005. p.740–758. [in Russian] (Крупнов В.А., Сибикеев С.Н. Чужеродные гены для улучшения мягкой пшеницы. В кн.: Идентифицированный генофонд растений и селекция / под ред. Б.В. Ригина, Е.И. Гаевской. Санкт-Петербург: ВИР; 2005. С.740–758).
- Lebedeva T.V., Brykova A.N., Zuev E.V. Powdery mildew resistance of Nordic spring bread wheat accessions from the collection of the Vavilov Institute (VIR). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(3):146–154. [in Russian] (Лебедева Т.В., Брыкова А.Н., Зуев Е.В. Устойчивость к мучнистой росе скандинавских образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(3):146–154). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-146-154
- Lebedeva T.V., Zuev E.V. Inheritance of powdery mildew resistance in selected spring wheat accessions from the VIR collection. *Vavilovia*. 2018;1(1):18–24. [in Russian] (Лебедева Т.В., Зуев Е.В. Наследование устойчивости к мучнистой росе у некоторых образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР. *Vavilovia*. 2018;1(1):18–24). DOI: 10.30901/2658-3860-2018-1-18-24
- Lebedeva T.V., Zuev E.V. Studies of powdery mildew resistance (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici* Golov.) in varieties of com-

- mon wheat (*Triticum aestivum* L.). *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2015;29(7):17-20. [in Russian] (Лебедева Т.В., Зуев Е.В. Изучение устойчивости к мучнистой росе (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici* Golov.) сортов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(7):17-20).
- Li Z., Lan C., He Z., Sing R., Rosewarne G., Chen X. et al. Overview and application of QTL for adult plant resistance to leaf rust and powdery mildew in wheat. *Crop Science*. 2014;54(5):1907-1925. DOI: 10.2135/cropsci2014.02.0162
- Mains E.B., Dietz S.M. Physiologic forms of barley mildew *Erysiphe graminis hordei*. *Phytopathology*. 1930;20(3):229-239.
- Martynov S.P., Dobrotvorskaya T.V., Krupnov V.A. Analysis of the distribution of *Triticum timopheevii* Zhuk. genetic material in common wheat varieties (*Triticum aestivum* L.). *Russian Journal of Genetics*. 2018;54(2):166-175. DOI: 10.1134/s1022795418020126
- McIntosh R.A., Yamazaki Y., Dubcovsky J., Rogers J., Morris C., Appels R., Xia X.C. Catalogue of gene symbols for wheat. In: *Proceedings of the 12th International Wheat Genetics Symposium; 8–13 September 2013; Yokohama, Japan*. Springer Open; 2013. Available from: <https://wheat.pw.usda.gov/GG2/Triticum/wgc/2013/GeneCatalogueIntroduction.pdf> [accessed May 16, 2022].
- Rabinovich S.V. Importance of wheat-rye translocations for breeding for modern cultivars of *Triticum aestivum* L. *Euphytica*. 1998;100(1-3):323-340. DOI: 10.1023/A:1018361819215
- Syukov V.V., Shabalkina E.N., Shevchenko S.N., Vyushkov A.A. The spring bread wheat Tulaikovskaya 110. (Yarovaya myagkaya pshenitsa Tulaikovskaya 110). *Molodoi ucheny = Young Scientist*. 2016;27(3):57-60. [in Russian] (Сюков В.В., Шабалкина Е.Н., Шевченко С.Н., Вьюшков А.А. Яровая мягкая пшеница Тулайковская 110. *Молодой ученый*. 2016;27(3):57-60).
- Tyryshkin L.G., Lebedeva T.V., Kovaleva M.M., Zuev E.V., Brykova A.N., Kudryavtseva E.Yu. Catalogue of the VIR global collection. Issue 913. Spring bread wheat. Description of the newest accessions in the VIR collection, screened for their resistance to wheat leaf rust, spot blotch, powdery mildew and loose smut. St. Petersburg: VIR; 2020. [in Russian] (Тырышкин Л.Г., Лебедева Т.В., Ковалева М.М., Зуев Е.В., Брыкова А.Н., Кудрявцева Е.Ю. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 913. Яровая мягкая пшеница. Характеристика образцов новейших поступлений коллекции ВИР по устойчивости к листовой ржавчине, темно-бурой листовой пятнистости, мучнистой росе и фузариозу колоса. Санкт-Петербург: ВИР; 2020).
- Tyryshkin L.G., Lebedeva T.V., Kovaleva M.M., Zuev E.V., Brykova A.N., Stetsyuk S.N. Catalogue of the VIR global collection. Issue 795. Spring bread wheat. Description of the newest accessions in the VIR collection, screened for their resistance to wheat leaf rust, spot blotch, septoria, powdery mildew and scab (Katalog mirovoy kollektsii VIR. Vypusk 795. Yarovaya myagkaya pshenitsa. Kharakteristika obraztsov noveyshikh postupleniy kollektsii VIR po ustoychivosti k listovoy rzhavchine, temno-buroy listovoy pyatnistosti, septoriozu, muchnistoy rose i fuzariozu kolosa). St. Petersburg: VIR; 2009. [in Russian] (Тырышкин Л.Г., Лебедева Т.В., Ковалева М.М., Зуев Е.В., Брыкова А.Н., Стецюк С.Н. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 795. Яровая мягкая пшеница. Характеристика образцов новейших поступлений коллекции ВИР по устойчивости к листовой ржавчине, темно-бурой листовой пятнистости, септориозу, мучнистой росе и фузариозу колоса. Санкт-Петербург: ВИР; 2009).
- Tyryshkin L.G., Lebedeva T.V., Kovaleva M.M., Zuev E.V., Brykova A.N., Stetsyuk S.N. Catalogue of the VIR global collection. Issue 823. Spring bread wheat. Description of the newest accessions in the VIR collection, screened for their resistance to wheat leaf rust, spot blotch, powdery mildew and scab. (Katalog mirovoy kollektsii VIR. Vypusk 823. Yarovaya myagkaya pshenitsa. Kharakteristika obraztsov noveyshikh postupleniy kollektsii VIR po ustoychivosti k listovoy rzhavchine, temno-buroy listovoy pyatnistosti, muchnistoy rose i fuzariozu kolosa). St. Petersburg: VIR; 2015. [in Russian] (Тырышкин Л.Г., Лебедева Т.В., Ковалева М.М., Зуев Е.В., Брыкова А.Н., Стецюк С.Н. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 823. Яровая мягкая пшеница. Характеристика образцов новейших поступлений коллекции ВИР по устойчивости к листовой ржавчине, темно-бурой листовой пятнистости, мучнистой росе и фузариозу колоса. Санкт-Петербург: ВИР; 2015).
- Zhu K., Li M., Wu H., Zhang D., Dong L., Wu Q. et al. Fine mapping of powdery mildew resistance gene *MIWE74* derived from wild emmer wheat (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides*) in an NBS-LRR gene cluster. *Theoretical and Applied Genetics*. 2022;135(4):1235-1245. DOI: 10.1007/s00122-021-04027-2

Информация об авторах

Татьяна Вениаминовна Лебедева, 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, riginbv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2344-9233>

Алла Николаевна Брыкова, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, a.brykova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2215-5068>

Евгений Валерьевич Зуев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, и. о. зав. отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.zuev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

Information about the authors

Tatiana V. Lebedeva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, riginbv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2344-9233>

Alla N. Brykova, Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, a.brykova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2215-5068>

Evgeny V. Zuev, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Acting Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.zuev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

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 19.10.2022; одобрена после рецензирования 28.11.2022; принята к публикации 02.03.2023.
The article was submitted on 19.10.2022; approved after reviewing on 28.11.2022; accepted for publication on 02.03.2023.

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 633.162:58.051
DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-215-224

Генетическое разнообразие дикого ячменя (*Hordeum spontaneum* K. Koch) по устойчивости к токсичным ионам алюминия

О. В. Яковлева

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

Автор, ответственный за переписку: Ольга Владимировна Яковлева, oly.yakovleva@mail.ru

Актуальность. Для культивируемого вида ячменя проблема устойчивости к алюминиевой токсичности почв весьма актуальна. В нашей стране площадь кислых почв составляет около сорока процентов от общей площади пашни, поэтому токсичность алюминия является одним из основных факторов, снижающих урожайность ячменя. Изучение диких родичей основных сельскохозяйственных культур, в том числе и ячменя, представляет значительный интерес для создания стрессоустойчивых сортов. Дикий ячмень *Hordeum spontaneum* K. Koch имеет схожие биологические признаки с культурным *H. vulgare* L., произрастает в различных эколого-географических зонах, хорошо адаптирован к местным почвенно-климатическим условиям. Все это позволяет использовать его как новый источник исходного материала для селекции высокоурожайных, адаптированных к условиям внешней среды сортов. *Цель работы* – поиск высокоустойчивых генотипов *H. spontaneum* к ионной (Al^{3+}) токсичности.

Материалы и методы. Исследовали 100 образцов *H. spontaneum* из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Устойчивость образцов ячменя к токсичным ионам алюминия изучали на ранних этапах развития растений методом корневого теста (185 мкМ Al^{3+} , pH 4,0) с определением индексов длины корня и роста.

Результаты и выводы. Изученный фрагмент коллекции дикого ячменя отличается большим генетическим разнообразием по уровню устойчивости к фитотоксичным ионам алюминия. Лабораторная оценка ячменя позволила выделить генотипы, различающиеся по реакции корня и роста на ранних фазах онтогенеза. Выделенные генотипы с высоким уровнем устойчивости к ионному стрессу можно использовать как ценный источник генетического материала для улучшения уже существующих сортов и создания новых путем интрогрессии чужеродных генов устойчивости.

Ключевые слова: дикорастущий ячмень, алюминий, ионный стресс, алюмоустойчивость

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве» (№ 0481-2022-0001).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Яковлева О.В. Генетическое разнообразие дикого ячменя (*Hordeum spontaneum* K. Koch) по устойчивости к токсичным ионам алюминия. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):215-224. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-215-224

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-215-224

Genetic diversity of wild barley (*Hordeum spontaneum* K. Koch) in the context of resistance to toxic aluminum ions**Olga V. Yakovleva***N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia***Corresponding author:** Olga V. Yakovleva oly.yakovleva@mail.ru

Background. The problem of resistance to aluminum toxicity of soils is very relevant for the cultivated type of barley. The area of acidic soils in Russia is about forty percent of the total area of arable land, so the toxicity of aluminum is one of the main factors that reduce the yield of barley. The study of wild relatives of the main crops, including barley, is of considerable interest for the development of stress-resistant cultivars. Wild barley *Hordeum spontaneum* K. Koch has biological characteristics similar to the cultivated *H. vulgare* L., grows in various ecogeographic zones, and is well adapted to local soil and climate conditions. All this makes it possible to use it as a new donor of source material for breeding high-yielding cultivars adapted to certain environmental conditions. The objective of this work was to search for *H. spontaneum* genotypes highly resistant to ionic (Al^{3+}) toxicity.

Materials and methods. One hundred accessions of *H. spontaneum* from the collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) were examined. The resistance of barley accessions to toxic aluminum ions was studied at the early stages of plant development by the root test method (185 mcM Al^{3+} , pH 4.0) with the calculation of root and sprout length indices.

Results and conclusions. The studied fragment of the wild barley collection demonstrated broad genetic diversity in terms of resistance to phytotoxic aluminum ions. Laboratory assessment allowed us to identify barley genotypes differing in the reaction of their roots and sprouts at the early phases of ontogenesis. The identified genotypes with a high level of resistance to ion stress can be used as a valuable source of genetic material to improve existing cultivars and develop new ones by introgression of foreign resistance genes.

Keywords: wild barley, aluminum, ionic stress, aluminum resistance

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state task according to the thematic plan of VIR for the project "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" (No. 0481-2022-0001).

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Yakovleva O.V. Genetic diversity of wild barley (*Hordeum spontaneum* K. Koch) in the context of resistance to toxic aluminum ions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):215-224. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-215-224

Введение

Культивируемый ячмень (*Hordeum vulgare* L.) – одна из старейших одомашненных зерновых культур. Считается, что он был отобран из дикого вида *Hordeum spontaneum* K. Koch более десяти тысяч лет назад в израильско-иорданском регионе (Nevo et al., 2012; Thormann et al., 2016).

Дикий и культурный виды ячменя имеют схожие биологические признаки: диплоидные ($2n = 14$), преимущественно самоопыляемые и интерфертильные.

Растения *H. spontaneum* однолетние, отличаются большим разнообразием форм по высоте, восковому налету, длине остей, окраске колоса, величине зерновок (Lukyanova et al., 1990). Выделяются следующие разновидности *H. spontaneum*: *bactrianum* Vav.; *ishnaterum* (Coss.) Thell.; *proskowetzii* Nabel.; *spontaneum* K. Koch; *transcaspicum* Vav.; *agrocritum* Trofim. Вид представлен озимыми, полуозимыми и яровыми формами.

Вид *H. spontaneum* происходит из Старосветского генцентра, который расположен на территории современных Передней, Средней Азии и Средиземноморья (Trofimovskaya, 1972). Дикий ячмень широко распространен и произрастает в Северной Африке, на Ближнем Востоке, в Центральной Азии, в некоторых частях Индийского полуострова и на юго-западе Китая. Предполагается, что один из центров происхождения дикого ячменя находится на территории Ирака, где наблюдается наибольшее разнообразие разновидностей *H. spontaneum* (Priazyuk, Smekalova, 2013).

Дикие виды считаются хорошо адаптированными к местным почвенно-климатическим условиям, произрастают в различных экологических зонах (Baumetov, Abdullaev, 2021). В пределах ареала дикий ячмень подвержен различным биотическим и абиотическим стрессам, включая высокие температуры, засуху, повышенную засоленность почв.

Сообщается, что природные популяции *H. spontaneum* обладают большим генетическим разнообразием, а также проявляют значительное разнообразие по устойчивости к болезням, вредителям и по количественным признакам, имеющим агрономическое значение. Вид отличается скороспелостью, засухоустойчивостью, жаровыносливостью, что важно для селекции. Отдельные его формы устойчивы к грибным болезням: мучнистой росе (Dreiseitl, 2017), ринхоспориозу (Azamparsa et al., 2018), карликовой ржавчине (Thormann et al., 2016).

В естественных популяциях преобладают устойчивые к некоторым абиотическим факторам генотипы. Так, на засоленных почвах *H. spontaneum* синтезирует больше органического вещества на единицу поглощаемых азота, фосфора и калия, чем культурный ячмень *H. vulgare* (Klimashevsky, 1991).

Отмечено, что генетическая изменчивость дикого ячменя значительно больше, чем *H. vulgare*. Ценный генотип дикого ячменя еще недостаточно используется в селекционной практике. Существуют отдельные исследования по идентификации новых генов устойчивости к болезням и абиотическим факторам среды. У *H. spontaneum* были идентифицированы гены устойчивости к засухе и соли и локусы количественных признаков (QTL) (Dawson et al., 2015). Несколько кластеров QTL, определяющих устойчивость к засухе и засолению, были определены у *H. spontaneum* на хромосомах 1Н, 2Н, 4Н, 6Н и 7Н (Gong et al., 2013). Наиболее широко изучена устойчивость дикого ячменя к засухе (Shen

et al., 2018; Wang et al., 2018; Lei et al., 2019), проведена идентификация локусов количественных признаков, влияющих на показатели урожайности и качества семян в условиях засухи.

Наименее изучена устойчивость дикого ячменя к токсическому действию ионов тяжелых металлов и алюминия. Отдельные работы посвящены исследованиям дикого ячменя из Тибета как источника высокой устойчивости к абиотическим стрессам (Wu et al., 2011; Ahmed et al., 2018; Pan et al., 2018). Однако гены, контролирующие устойчивость к ионам алюминия, изучены недостаточно. S. Cai et al. (2013) в популяции тибетского ячменя идентифицировали два локуса (*bpb-9458* и *bpb-8524*), расположенных на хромосомах 2Н и 7Н и связанных с ростом корневой системы. Также был идентифицирован общий для дикого и культурного ячменя локус *bpb-6949*, локализованный на расстоянии 0,8 см от гена *HvMATE* и контролирующей рост корневой системы. В исследовании отмечается, что дикий тибетский ячмень может являться источником генов для повышения толерантности ячменя к алюминию.

Для культивируемого вида ячменя проблема устойчивости к алюминиевой токсичности почв весьма актуальна. В нашей стране площадь кислых почв составляет около сорока процентов от общей площади пашни, поэтому токсичность алюминия является одним из основных факторов, снижающих урожайность ячменя (Yakovleva, 2018). Изучение диких родичей основных сельскохозяйственных культур, в том числе и ячменя, представляет значительный интерес для создания стрессоустойчивых сортов.

Целью нашей работы был поиск генотипов дикого ячменя *H. spontaneum* с высокой устойчивостью к ионной токсичности.

Материалы и методы

H. spontaneum был представлен 100 образцами из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Исследованные образцы относятся к Переднеазиатскому, Средиземноморскому, Среднеазиатскому и Восточноазиатскому генетическим центрам происхождения. В пределах генцентров изучались ячмени, относящиеся к различным эколого-географическим группам, которые поступили в коллекцию ВИР из Азербайджана, Армении, Афганистана, Дагестана, Сирии, Турции, Израиля, Ирана, Ирака, Казахстана, Таджикистана, Туркмении, Узбекистана, Китая (рис. 1).

Устойчивость образцов ячменя к токсичным ионам алюминия изучали на ранних этапах развития растений методом корневого теста с расчетом индексов длины корня (ИДК) и ростка (ИДР) (Yakovleva et al., 2009; Yakovleva, 2021). Семена исследуемых образцов выращивали в водном растворе с концентрацией ионов Al^{3+} 185 мкМ и pH 4,0. В качестве контроля использовали дистиллированную воду с pH 6,5 без ионов Al^{3+} . В каждую растительную дополнительно закладывали сорта-тестеры 'Московский 121' (к-19417, ИДК 0,63) и 'Полярный 14' (к-15619, ИДК 0,76). На седьмые сутки после воздействия ионов алюминия на растения одновременно измеряли два показателя: длину зародышевых корней и ростка. После этого для каждого образца определяли индекс длины корня и индекс длины ростка. Изученные образцы дикого ячменя распределяли на пять групп устойчивости (Yakovleva, 2021).

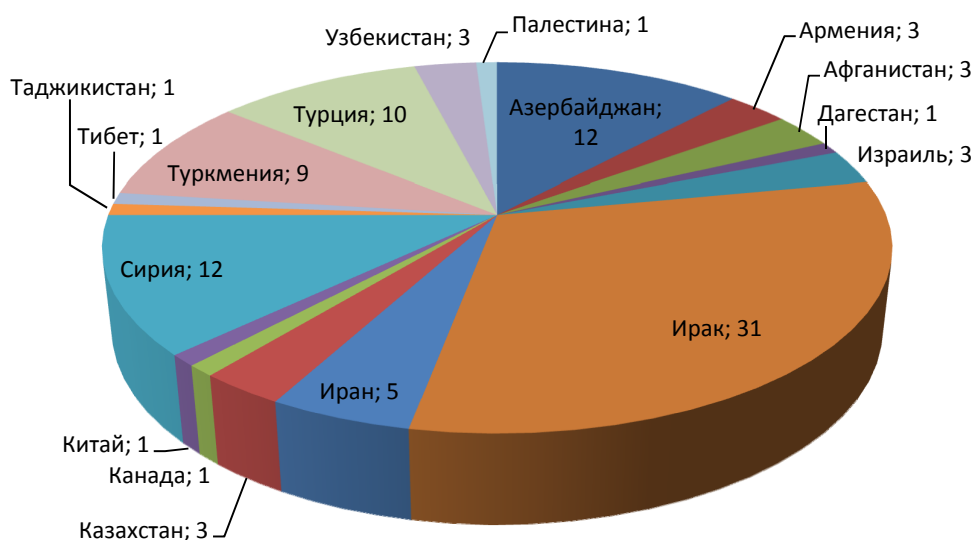


Рис. 1. Происхождение исследуемых образцов *Hordeum spontaneum* K. Koch

Fig. 1. Origin of the studied accessions of *Hordeum spontaneum* K. Koch

Результаты и обсуждение

Среди 100 образцов дикого ячменя *H. spontaneum* выделены образцы с различной устойчивостью к фитотоксичным ионам алюминия. Определен широкий диапазон наследственной изменчивости признака как по индексу длины корня (0,31–0,97), так и по индексу длины ростка (0,32–0,99).

При распределении изученных образцов на группы устойчивости формы, которые могли быть отнесены к пятой группе (неустойчивые к стрессу, ИД < 0,30), не выделены.

По индексу длины корня выделено 32 высокоустойчивых (ИДК > 0,81) образца, что составляет более 30 процентов от всех изученных (табл. 1). Более 60% диких ячменей в исследуемой выборке относятся ко второй и третьей группам устойчивости, устойчивые и среднеустойчивые, соответственно. Семь образцов *H. spontaneum*, такие как w-34, w-65, w-294, w-318, w-455, w-473, w-770 отнесены к группе среднечувствительных (ИДК 0,31–0,40).

При концентрации 185 мкМ Al^{3+} изучалось варьирование длины ростка у всех представленных образцов. Они распределены на четыре группы устойчивости. К первой группе высокоустойчивых относится около 80% образцов. Самый высокий индекс длины ростка (0,99) имеют образцы w-336 и w-404, развитие ростка которых в условиях стресса почти не отличалось от развития ростка в контрольном варианте. Всего один образец

(w-65) по индексу длины ростка отнесен к группе среднечувствительных.

В целом изученный вид ячменя *H. spontaneum* характеризуется достаточно высокой устойчивостью к фитотоксичным ионам алюминия (табл. 2), среди образцов отмечаются существенные наследственные различия по устойчивости. Около 30% образцов показали высокую устойчивость по индексам длины корня и ростка. К ним относятся такие образцы, как w-330 (Сирия), w-334 (Турция), w-449, w-455, w-459, w-460, w-463, w-464 (Ирак).

Наиболее многочисленной была группа ячменей *H. spontaneum* из Ирака, относящаяся к Среднеазиатскому генцентру. У нее отмечено наибольшее генетическое разнообразие по уровню устойчивости к токсичным ионам Al^{3+} (рис. 2). Индекс длины корня этих ячменей находился в пределах от 0,31 до 0,97, а индекс длины ростка – от 0,72 до 0,98. Высокая устойчивость по показателям длины корня и ростка была выявлена у образцов w-325, w-328, w-449, w-455, w-457, w-459, w-472 (см. табл. 2). Два образца (w-318 и w-473) оказались средне чувствительными по индексу длины корня, что составляет шесть процентов от образцов, изученных в группе.

Проведенное исследование позволило охарактеризовать дикий вид *H. spontaneum* по устойчивости к действию токсичных ионов алюминия. Нами выделен новый исходный материал, который может быть важным источником улучшения культурного ячменя в условиях эдафического стресса.

Таблица 1. Распределение образцов *Hordeum spontaneum* K. Koch по группам устойчивости

Table 1. Distribution of *Hordeum spontaneum* K. Koch accessions according to tolerance groups

Район происхождения / Area of origin	Изучено образцов / Accessions studied	Группа устойчивости по индексу длины корня* Tolerance group according to the root length index				
		1	2	3	4	5
Азербайджан	12	1	8	3	–	–
Армения	3	–	1	2	–	–
Афганистан	3	–	–	2	1	–
Дагестан	1	1	–	–	–	–

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

Район происхождения / Area of origin	Изучено образцов / Accessions studied	Группа устойчивости по индексу длины корня* Tolerance group according to the root length index				
		1	2	3	4	5
Израиль	3	–	3	–	–	–
Ирак	31	19	9	1	2	–
Иран	5	2	–	3	–	–
Казахстан	3	–	–	3	–	–
Канада	1	–	–	–	1	–
Китай	1	–	–	1	–	–
Палестина	1	–	–	–	1	–
Сирия	12	3	5	3	1	–
Таджикистан	1	–	1	–	–	–
Тибет	1	–	1	–	–	–
Туркмения	9	1	–	8	–	–
Турция	10	5	3	2	–	–
Узбекистан	3	–	1	1	1	–
Всего:	100	32	32	29	7	–

Примечание: * – Группы устойчивости: 1 – высокоустойчивые (ИД > 0,81); 2 – устойчивые (ИД 0,61–0,80); 3 – среднеустойчивые (ИД 0,41–0,60); 4 – среднечувствительные (ИД 0,31–0,40); 5 – неустойчивые (ИД < 0,30)

Note: * – Tolerance groups: 1 – highly resistant (IL > 0.81); 2 – resistant (IL 0.61–0.80); 3 – medium-resistant (IL 0.41–0.60); 4 – medium-sensitive (IL 0.31–0.40); 5 – non-resistant (IL < 0.30)

Таблица 2. Устойчивость *Hordeum spontaneum* K. Koch к токсичным ионам алюминия (Al³⁺)Table 2. Resistance of *Hordeum spontaneum* K. Koch to toxic aluminum ions (Al³⁺)

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Происхождение / Origin	Индекс длины / Length index	
		ростка /sprout	корня /root
w-33	Азербайджан	0,87	0,73
w-34	Палестина	0,79	0,31
w-39	Азербайджан	0,93	0,59
w-46	Туркмения	0,80	0,55
w-50	— « —	0,85	0,53
w-51	Казахстан	0,89	0,54
w-52	— « —	0,95	0,53
w-53	Туркмения	0,75	0,43
w-54	— « —	0,89	0,60
w-55	Узбекистан	0,96	0,76
w-65	Канада	0,32	0,31
w-90	Туркмения	0,86	0,44

Таблица 2. Продолжение

Table 2. Continued

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Происхождение / Origin	Индекс длины / Length index	
		ростка /sprout	корня /root
w-127	Азербайджан	0,97	0,60
w-128	— « —	0,90	0,52
w-129	— « —	0,97	0,67
w-150	— « —	0,99	0,87
w-157	Израиль	0,76	0,77
w-186	Туркмения	0,93	0,57
w-188	— « —	0,94	0,60
w-209	Узбекистан	0,95	0,54
w-251	Азербайджан	0,82	0,70
w-255	Афганистан	0,81	0,54
w-256	— « —	0,98	0,55
w-263	Азербайджан	0,84	0,68
w-264	— « —	0,97	0,56
w-265	— « —	0,98	0,73
w-270	— « —	0,92	0,67
w-294	Афганистан	0,93	0,39
w-317	Ирак	0,90	0,76
w-318	— « —	0,72	0,40
w-324	— « —	0,85	0,65
w-325	— « —	0,97	0,90
w-326	— « —	0,86	0,89
w-328	— « —	0,98	0,88
w-330	Сирия	0,92	0,97
w-331	— « —	0,86	0,60
w-332	— « —	0,97	0,87
w-333	— « —	0,80	0,68
w-334	Турция	0,98	0,92
w-335	— « —	0,79	0,58
w-336	— « —	0,99	0,98
w-337	— « —	0,98	0,89
w-338	— « —	0,95	0,84
w-339	— « —	0,89	0,77
w-387	Азербайджан	0,68	0,73
w-393	Сирия	0,87	0,79
w-394	Ирак	0,83	0,82
w-398	Иран	–	–
w-404	Туркмения	0,99	0,81
w-407	Казахстан	0,81	0,59

Таблица 2. Продолжение

Table 2. Continued

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Происхождение / Origin	Индекс длины / Length index	
		ростка /sprout	корня /root
w-408	Турция	0,69	0,49
w-409	— « —	0,85	0,78
w-410	— « —	0,89	0,99
w-449	Ирак	0,98	0,97
w-450	Иран	0,88	0,95
w-451	Ирак	0,86	0,69
w-452	— « —	0,89	0,86
w-453	— « —	0,59	0,69
w-454	— « —	0,76	0,74
w-455	— « —	0,98	0,94
w-456	— « —	0,81	0,95
w-457	— « —	0,90	0,91
w-458	— « —	0,89	0,79
w-459	— « —	0,96	0,91
w-460	— « —	0,97	0,93
w-461	— « —	0,93	0,73
w-462	Турция	0,95	0,78
w-463	Ирак	0,96	0,97
w-464	— « —	0,95	0,97
w-465	— « —	0,90	0,73
w-466	— « —	0,82	0,89
w-467	— « —	0,96	0,81
w-468	— « —	0,94	0,84
w-469	— « —	0,96	0,71
w-470	— « —	0,87	0,60
w-471	— « —	0,96	0,83
w-472	— « —	0,98	0,84
w-473	— « —	0,72	0,31
w-477	— « —	0,80	0,93
w-485	Китай	0,76	0,59
w-495	Туркмения	0,92	0,51
w-498	Таджикистан	0,98	0,74
w-539	Иран	0,92	0,87
w-541	— « —	0,86	0,47
w-610	Дагестан	0,84	0,82
w-668	Армения	0,76	0,65
w-669	— « —	0,59	0,60
w-670	— « —	0,91	0,54

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Происхождение / Origin	Индекс длины / Length index	
		ростка /sprout	корня /root
w-699	Тибет	0,85	0,76
w-712	Израиль	0,86	0,58
w-728	Сирия	0,43	0,48
w-729	— « —	0,95	0,68
w-734	— « —	0,98	0,68
w-735	— « —	0,98	0,84
w-749	— « —	0,71	0,49
w-755	— « —	0,78	0,55
w-758	— « —	0,90	0,68
w-770	Узбекистан	0,74	0,38
w-771	Израиль	0,87	0,70
w-772	— « —	—	—
w-819	Иран	0,83	0,41
w-820	— « —	0,90	0,41

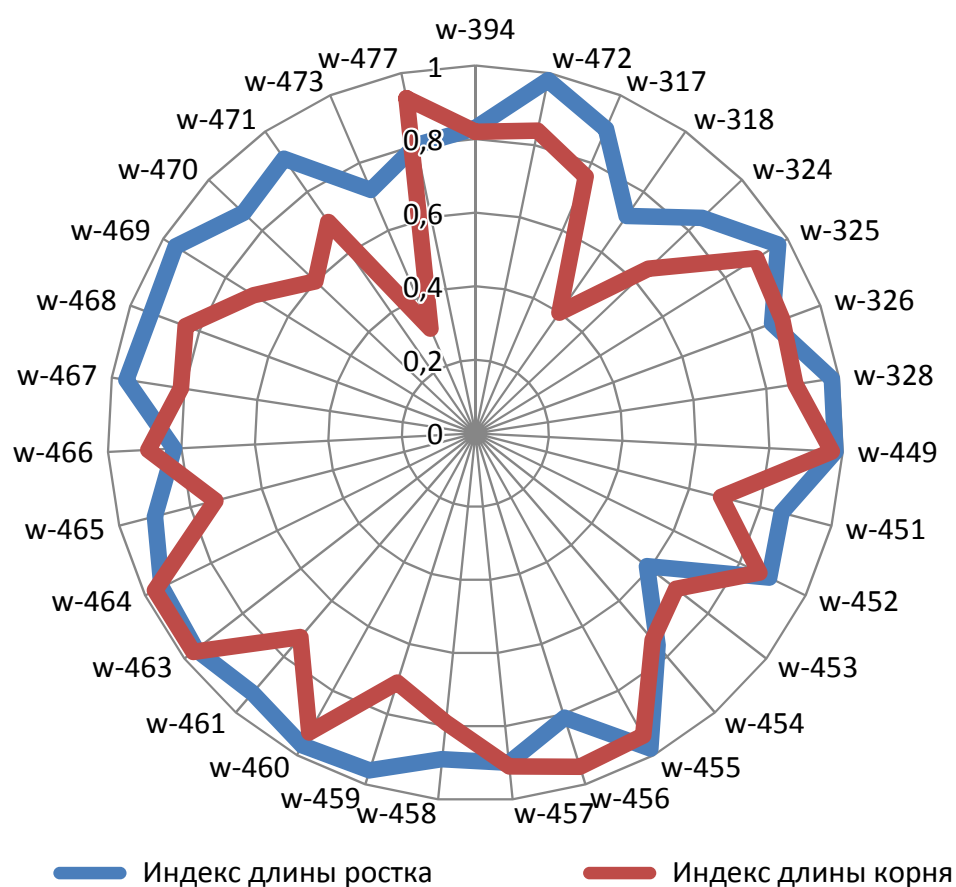


Рис. 2. Распределение образцов дикого ячменя из Ирака по алюмоустойчивости

Fig. 2. Distribution of wild barley accessions from Iraq according to aluminum resistance

Заключение

Изученный нами фрагмент коллекции дикого ячменя *H. spontaneum* отличается большим разнообразием по устойчивости к токсичным ионам алюминия. Лабораторная оценка ячменя методом корневого теста (185 мкМ Al^{3+} , pH 4,0) позволила выделить генотипы, различающиеся по реакции корней и роста на ранних фазах онтогенеза. Наиболее высокая устойчивость по показателям длины корня и роста выявлена у образцов: w-150 (Азербайджан), w-325, w-410, w-449, w-455, w-457, w-460, w-463, w-464, w-477 (Ирак), w-330 (Сирия), w-450 (Иран), w-610 (Дагестан), w-334, w-336 (Турция). Выделенные генотипы с высоким уровнем устойчивости к ионному стрессу можно использовать как ценный источник генетического материала для улучшения уже существующих сортов, и создания новых, устойчивых сортов путем интрогрессии чужеродных генов.

References / Литература

- Ahmed I.M., Nadira U.A., Qiu C.W., Cao F., Zhang G., Holford P. et al. Tolerance to drought, low pH and Al combined stress in Tibetan wild barley is associated with improvement of ATPase and modulation of antioxidant defense system. *International Journal of Molecular Sciences*. 2018;19(11):3553. DOI: 10.3390/ijms19113553
- Azamparsa M.R., Karakaya A., Ergün N., Sayim I., Murat Duran R., Özbek K. Identification of barley landraces and wild barley (*Hordeum spontaneum*) genotypes resistant to *Rhynchosporium commune*. *Tarım Bilimleri Dergisi = Journal of Agricultural Sciences*. 2018;25(4):530-535. DOI: 10.15832/ankutbd.441916
- Baymetov K.I., Abdullaev F.H. Status of wild relatives of barley (*Hordeum* L.) in Uzbekistan. *Academic Research in Educational Sciences*. 2021;2(12):1085-1095. [in Russian] (Байметов К.И., Абдуллаев Ф.Х. Состояние дикорастущих сорочидей ячменя (*Hordeum* L.) в Узбекистане. *Academic Research in Educational Sciences*. 2021;2(12):1085-1095). DOI: 10.24412/2181-1385-2021-12-1085-1095
- Cai S., Wu D., Jabeen Z., Huang Y., Huang Y., Zhang G. Genome-wide association analysis of aluminum tolerance in cultivated and Tibetan wild barley. *PLoS One*. 2013;8(7):e69776. DOI: 10.1371/journal.pone.0069776
- Dawson I.K., Russell J., Powell W., Steffenson B., William T.B. Thomas W.T.B. et al. Barley: a translational model for adaptation to climate change. *New Phytologist*. 2015;206(3):913-931. DOI: 10.1111/nph.13266
- Dreiseitl A. Heterogeneity of powdery mildew resistance revealed in accessions of the ICARDA wild barley collection. *Frontiers in Plant Science*. 2017;8:202. DOI: 10.3389/fpls.2017.00202
- Gong X., Li C., Zhang G., Yan G., Lance R., Sun D. Novel genes from wild barley *Hordeum spontaneum* for barley improvement. In: G. Zhang, C. Li, X. Lui (eds). *Advance in Barley Sciences: Proceedings of 11th International Barley Genetics Symposium*. Dordrecht: Springer; 2013. p.69-86. DOI: 10.1007/978-94-007-4682-4_6
- Klimashevsky E.L. Genetic aspect of plant mineral nutrition (Geneticheskiy aspekt mineralnogo pitaniya rasteniy). Moscow: Agropromizdat; 1991. [in Russian] (Климашевский Э.Л. Генетический аспект минерального питания растений. Москва: Агропромиздат; 1991).
- Lei L., Poets A.M., Liu C., Wyant S.R., Hoffman P.J., Carter C.K. et al. Environmental association identifies candidates for tolerance to low temperature and drought. *G3 (Bethesda, MD)*. 2019;9(10):3423-3438. DOI: 10.1534/g3.119.400401
- Lukyanova M.V., Trofimovskaya A.Y., Gudkova G.N., Terenteva I.A., Jarosh N.P. Cultivated Flora of the USSR. Vol. 2, Pt 2. Barley (Yachmen). V.D. Kobylansky, M.V. Lukyanova (eds). Leningrad: Agropromizdat; 1990. [in Russian] (Лукьянова М.В., Трофимовская А.Я., Гудкова Г.Н., Терентьева И.А., Ярош Н.П. Культурная флора СССР. Т. 2, ч. 2. Ячмень / под ред. В.Д. Кобылянского, М.В. Лукьяновой. Ленинград: Агропромиздат; 1990).
- Nevo E., Fu Y.B., Pavlicek T., Khalifa S., Tavasi M., Beiles A. Evolution of wild cereals during 28 years of global warming in Israel. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2012;109(9):3412-3415. DOI: 10.1073/pnas.1121411109
- Pan W., Shen J., Zheng Z., Yan X., Shou J., Wang W. et al. Overexpression of the Tibetan plateau annual wild barley (*Hordeum spontaneum*) HsCIPKs enhances rice tolerance to heavy metal toxicities and other abiotic stresses. *Rice (New York, NY)*. 2018;11(1):51. DOI: 10.1186/s12284-018-0242-1
- Prikazyuk E.G., Smekalova T.N. Features of the distribution of wild barley varieties (*Hordeum spontaneum* C. Koch) in connection with the problem of the origin of the species (Osobennosti rasprostraneniya raznovidnostey dikogo yachmenya (*Hordeum spontaneum* C. Koch) v svyazi s problemoy proiskhozhdeniya vida). *Advances in Current Natural Sciences*. 2013;(8):27. [in Russian] (Приказюк Е.Г., Смекалова Т.Н. Особенности распространения разновидностей дикого ячменя (*Hordeum spontaneum* C. Koch) в связи с проблемой происхождения вида. *Успехи современного естествознания*. 2013;(8):27).
- Shen Q., Yu J., Fu L., Wu L., Dai F., Jiang L. et al. Ionomic, metabolomic and proteomic analyses reveal molecular mechanisms of root adaption to salt stress in Tibetan wild barley. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2018;123:319-330. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.12.032
- Thormann I., Reeves P., Reilley A., Engels J.M.M., Lohwasser U., Börner A. et al. Geography of genetic structure in barley wild relative *Hordeum vulgare* subsp. *spontaneum* in Jordan. *PLoS One*. 2016;11(8):e0160745. DOI: 10.1371/journal.pone.0160745
- Trofimovskaya A.Ya. Barley (Yachmen). Leningrad: Kolos; 1972. [in Russian] (Трофимовская А.Я. Ячмень. Ленинград: Колос; 1972).
- Wang X., Chen Z.H., Yang C., Zhang X., Jin G., Chen G. et al. Genomic adaption to drought in wild barley is driven by edaphic natural selection at the Tabigha Evolution Slope. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2018;115(20):5223-5228. DOI: 10.1073/pnas.1721749115
- Wu D., Qiu L., Xu L., Ye L., Chen M., Sun D. et al. Genetic variation of *HvCBF* genes and their association with salinity tolerance in Tibetan annual wild barley. *PLoS One*. 2011;6(7):e22938. DOI: 10.1371/journal.pone.0022938
- Yakovleva O.V. Aluminum resistance of malting barley. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):126-131. [in Russian] (Яковлева О.В. Алюмоустойчивость пивоваренного ячменя. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(4):126-131). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-126-131
- Yakovleva O.V. Phytotoxicity of aluminum ions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):315-331. [in Russian] (Яковлева О.В. Фитотоксичность ионов алюминия. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(3):315-331). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-315-331

Yakovleva O.V., Kapeshinsky A.M., Kovaleva O.N. Aluminium toxic ions tolerance in cultivated and wild barley. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2009;165:51-54. [in Russian] (Яковлева О.В., Капешинский А.М., Ковалева О.Н. Устойчивость культурного и дикого ячменя к действию токсичных ионов алюминия. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009;165:51-54).

шинский А.М., Ковалева О.Н. Устойчивость культурного и дикого ячменя к действию токсичных ионов алюминия. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009;165:51-54).

Информация об авторе

Ольга Владимировна Яковлева, 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, oly.yakovleva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6537-0868>

Information about the author

Olga V. Yakovleva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, oly.yakovleva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6537-0868>

Статья поступила в редакцию 06.09.2022; одобрена после рецензирования 19.12.2022; принята к публикации 02.03.2023. The article was submitted on 06.09.2022; approved after reviewing on 19.12.2022; accepted for publication on 02.03.2023.

Обзорная статья

УДК 633.13:575.21

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-225-238



Коллекция генетических ресурсов овса ВИР как источник информации по истории возделывания, систематике рода и направлениям селекции культуры (обзор)

И. Г. Лоскутов, Е. В. Блинова, А. А. Гнутиков

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

Автор, ответственный за переписку: Елена Владимировна Блинова, e.blinova@vir.nw.ru

Овес – одна из ведущих зерновых культур, возделываемых в мире и Российской Федерации, имеет важное фуражное и пищевое значение. Для сохранения всего агробиоразнообразия сельскохозяйственных культур в мире существует сеть генных банков, в которых хранится более 200 тыс. образцов овса. Международные и национальные генные банки располагаются во всех странах мира, но одна из крупнейших коллекций овса находится в России.

Мировая коллекция рода *Avena* L. (Овес) Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) является одной из самых больших в мире и составляет более 13 000 образцов. В коллекции хранятся и поддерживаются в живом виде образцы овса всех культурных видов: *A. sativa* L., *A. byzantina* K. Koch, *A. strigosa* Schreb. и *A. abyssinica* Hochst., местные и селекционные, яровые и зимующие, пленчатые и голозерные формы и все географическое разнообразие 22 диких видов рода *Avena* из 50 стран мира. В статье приводится историческая справка о создании коллекции культурных и диких видов овса и кто были основными донорами этих коллекций. Кратко представлена таксономическая система рода, которая используется как инструмент эффективной работы и гарантированного сохранения коллекционных образцов. Большинство созданных в РФ сортов имеют в своей родословной образцы, полученные из мировой коллекции ВИР. Паспортная БД содержит подробные сведения обо всех образцах коллекции, что позволяет улучшать работу с коллекцией овса, в том числе гарантированно сохранять образцы коллекции и эффективно их изучать и использовать в виде исходного материала для селекции в ведущих селекционных центрах Российской Федерации.

Таким образом, мировая коллекция овса ВИР имеет фактическую и потенциальную ценность для устойчивого развития экологически безопасного сельского хозяйства, эффективной переработки сельскохозяйственной продукции и создания безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания.

Ключевые слова: история, генетические ресурсы, агробиоразнообразие, генный банк, коллекция ВИР, изучение, образец, база данных, сорт, донор

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ по теме 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: Лоскутов И.Г., Блинова Е.В., Гнутиков А.А. Коллекция генетических ресурсов овса ВИР как источник информации по истории возделывания, систематике рода и направлениям селекции культуры (обзор). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):225-238. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-225-238

SURVEYS

Review article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-225-238

The collection of oat genetic resources held by VIR as a source of information on the history of cultivation and taxonomy of the genus, and breeding trends (a review)

Igor G. Loskutov, Elena V. Blinova, Alexander A. Gnutikov

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

Corresponding author: Elena V. Blinova, e.blinova@vir.nw.ru

Oat is one of the leading cereals cultivated in the world and in Russia; it has an important fodder and nutritional value. To preserve the entire crop agrobiodiversity worldwide, there is a network of genebanks that hold more than 200,000 oat accessions. International and national genebanks are located in all the world's countries, but one of the largest oat collections is located in Russia.

The global collection of the genus *Avena* L. (Oats) at the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) is one of the largest worldwide and consists of over 13,000 accessions. The collection preserves and maintains live accessions of all cultivated oat species: *A. sativa* L., *A. byzantina* K. Koch, *A. strigosa* Schreb. and *A. abyssinica* Hochst., landraces, breeding lines, spring and winter forms, covered and naked genotypes, and all geographic diversity of 22 wild *Avena* spp. from 50 countries. This review provides historical background of the collection of cultivated and wild oat species, and who were the main donors of these holdings. The taxonomic system of the genus is briefly presented, which is used as a tool for efficient work and guaranteed safe preservation of accessions. Most of the cultivars developed in Russia have in their pedigree accessions obtained from the global collection of VIR. The passport database contains detailed information about all accessions of the collection, which makes it possible to improve the work with the oat collection, including safe preservation of accessions and their effective evaluation and use as source material for breeding in the leading breeding centers of Russia.

Thus, the global oat collection at VIR has factual and potential value for the sustainable development of environmentally friendly agriculture, efficient processing of agricultural products, and production of safe and high-quality food products, including functional foods.

Keywords: history, genetic resources, agrobiodiversity, genebank, evaluation, accession, database, cultivar, donor

Acknowledgments: the work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, theme 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 referees for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Loskutov I.G., Blinova E.V., Gnutikov A.A. The collection of oat genetic resources held by VIR as a source of information on the history of cultivation and taxonomy of the genus, and breeding trends (a review). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):225-238. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-225-238

Введение

Овес – пятая по значимости зерновая культура в мире, которую выращивают на всех континентах. По данным FAO за 2018 г. (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>), посевные площади под овсом составляют 9,846 млн га, производство зерна составляет 23,051 млн т. и распределено следующим образом: в Европе – 58,6%, в Америке – 27,8%, в Азии – 7,1%, в Австралии и Океании – 5,5%, в Африке – 1,0%. В десятку лидеров по производству зерна входят: Россия, Канада, Австралия, Польша, Китай, Финляндия, Великобритания, Испания, Аргентина и США.

Для России овес – это типичная зерновая культура, известная в нашей стране с X–XI вв. На протяжении веков озимая рожь и яровой овес были ведущими культурами на Руси. В дореволюционной России посевы овса составляли 20% от посевов зерновых культур. Овес был не только зернофуражной культурой, но широко использовался в пищу в виде толокна.

В 1940 г. площади под овсом в СССР составляли 20,2 млн га, из них 80% были расположены в РСФСР; к 1958 г. они уменьшились до 14 млн га. В 1990 г. в России высевали уже 9,1 млн га овса при валовом сборе 12 млн т, а к 1998 г. посевная площадь сократилась до 5,1 млн га, то есть на 44%. К этому времени Россия не утратила своего лидерства, ее показатели были сопоставимы с другими странами, и она входила в пятерку ведущих стран – производителей овса. До настоящего времени Россия занимает первое место в мире по производству зерна и по посевным площадям, занятым овсом. За последние двадцать лет посевные площади в мире значительно сократились: в РФ (более чем в 2 раза), в Канаде (в 1,4 раза), в Польше (в 1,3 раза), в Финляндии (в 1,4 раза), в США (в 3,5 раза) (табл. 1).

британии она составила 5,43 т/га, в Финляндии – 3,76 т/га, в Канаде – 3,44 т/га, в Австралии – 2,20 т/га, в России – 1,96 т/га. Необходимо повышать урожайность овса в России, и в этом помогут вновь создаваемые высокопродуктивные сорта.

В настоящее время крупнейшими поставщиками зерна овса на мировом рынке остаются Канада, Австралия и Евросоюз. Доля России в мировой торговле мизерна. Большая часть производственного зерна используется внутри страны. Складывающаяся неблагоприятная ситуация с сокращением площадей под посевами овса может привести к тому, что из ведущего производителя овса в мире Россия может стать ведущим мировым импортером овса, что повлечет за собой большие финансовые издержки. Все это может уменьшить продовольственную безопасность России. Кроме того, не будут востребованы современные и вновь создаваемые сорта овса, которые успешно создаются селекционерами России. В свою очередь, это может привести к сворачиванию исследовательской работы с овсом, поисков новых направлений селекции по качественным признакам зерна и в конечном счете прекращению селекционной работы в ряде регионов России, что повлечет использование сортов зарубежной селекции, которые чаще всего не приспособлены к экстремальным российским условиям выращивания. Такая ситуация может еще больше повлиять на сокращение посевных площадей и ухудшение качества зерновой продукции.

С другой стороны, Россия имеет все необходимые объективные условия для получения максимального и высококачественного урожая зерна овса. Она обладает в настоящее время относительно других стран большими площадями под овсом, которые могут быть реально увеличены, особенно в регионах Сибири. Необходимо су-

Таблица 1. Посевные площади овса по данным FAO (1997–2017 гг.)

Table 1. Cultivated areas of oats according to FAO (1997–2017)

Страна / Country	Посевные площади в 1997 г., га / Cropping areas in 1997, ha	Посевные площади в 2017 г., га / Cropping areas in 2017, ha
РФ	5 835 700	2 778 294
Канада	1 498 500	1 082 067
Австралия	937 000	1 027 872
Польша	625 540	491 241
Китай	440 000	362 005
Финляндия	369 200	269 500
Великобритания	100 000	161 000
Испания	399 811	558 767
Аргентина	289 500	321 054
США	1 138 390	324 160

Значительные сокращения посевных площадей привели к уменьшению валового сбора зерна с 32,19 млн т в 1997 г. до 25,94 млн т в 2017 г. Благодаря успехам селекции за последние 20 лет, удалось повысить урожайность сортов овса и на меньшей площади выращивать больше зерна. В среднем в мире урожайность выросла с 2,07 т/га в 1997 г. до 2,54 т/га в 2017 г. В Велико-

щественно увеличить процент зерна, используемого для переработки на продукты питания, что может сделать эту часть растениеводства экономически более выгодной и привести к более здоровому изменению режима питания россиян. Для всего этого Россия располагает большим сортиментом районированных сортов овса, разнообразных по хозяйственно важным признакам, хо-

рошо адаптированных ко всем регионам страны. Ряд сортов обладает повышенными показателями качества зерна, они могут уже в настоящее время использоваться для пищевых целей. Путем улучшения процесса семеноводства и качества производственных посевов овса Россия могла бы стать крупным экспортером овса. И в связи с этим Россия могла бы занять достойное место не только как лидер по производству овса, но и как ведущий мировой экспортер этой культуры.

Коллекции генетических ресурсов овса

Для сохранения агробиоразнообразия и использования в селекции генетических ресурсов культурных растений в мире создана сеть генных банков. В Докладе о состоянии генетических ресурсов растений в мире указано, что коллекция овса *ex situ* насчитывает около 220 000 образцов. Наиболее крупные коллекции овса хранятся в Министерстве сельского хозяйства США (более 20 000 образцов), PGRC, Канада (30 000 образцов), и в рамках Европейской кооперативной программы по генетическим ресурсам (ECP/GR) (34 150 образцов). Документация по этим образцам легко доступна в Интернете. Кроме того, большие коллекции находятся в Кении (13 000 образцов), в Германии (5000 образцов) и в Израиле (7500 образцов), причем последний объявил об особенно богатой коллекции *Avena sterilis* L. (5000 образцов), а также в Австралии (Loskutov, Rines, 2011). Для работы с генетическими ресурсами овса была создана Европейская база данных по овсу (European *Avena* Database), объединяющая все коллекции стран Европы, Турции, Израиля и некоторых других стран (более 30 000 записей), которая аккумулируется в рамках Европейской кооперативной программы (European Cooperative Programme for Crop Genetic Resources Networks) на сайте Julius-Kuehn Institute (<http://eadb.julius-kuehn.de/eadb/>), Кведлинбург, Германия.

Мировая коллекция ВИР как источник исходного материала помогает в решении селекционных задач для создания новых высокопродуктивных и высококачественных сортов овса с использованием традиционных и современных методов. Сведения обо всех образцах коллекции содержатся в электронной паспортной базе данных (БД). В настоящее время базы данных являются инструментом для автоматизации различных исследований. Они служат незаменимым помощником при анализе данных по самым различным аспектам научной деятельности, а также значительно сокращают объем сопутствующей рутинной работы.

С начала 1970-х годов были разработаны классификаторы по различным культурам. Первый такой классификатор рода *Triticum* L. был опубликован в 1973 г., после чего появляются классификаторы по другим родам и семействам. Классификатор рода *Avena* L. был опубликован в 1984 г. После выпуска классификаторов в институте начинается работа по созданию паспортной базы данных и базы данных по изучению всех коллекций института на основе появившихся в то время электронных вычислительных машин (ЭВМ).

Н. И. Вавилов, его соратники и последователи заложили надежный теоретический и практический фундамент для успешной деятельности ВИР с коллекциями культурных растений и их диких родичей в области сбора, изучения, сохранения и использования генетических ресурсов растений (Vavilov, 1962). На основе полученных Н. И. Вавиловым данных для оценки сортов в географических

опытах и для создания агроэкологической классификации культурных растений (Vavilov, 1957) были разработаны методические указания для изучения всего многообразия коллекций ВИР, которые выдержали проверку временем и являются основополагающими для работы ресурсных отделов и методических лабораторий института, опытных станций, опорных пунктов ВИР и селекционных центров РФ.

В 70-е годы XX столетия были созданы первые классификаторы для различных культур, которые давали возможность перевода информации по коллекциям в цифровую форму для занесения ее в вычислительную технику (The International COMECON..., 1984). В дальнейшем, с развитием персональных компьютеров, с усовершенствованием и систематизацией структуры различных баз данных, они стали помогать в работе с коллекциями различных культур (Loskutov, 2009). Сотрудники ВИР принимали участие в разработке классификаторов и международных дескрипторов для различных культур, в том числе и для работы с овсом (Oat Descriptors..., 1985).

При работе с генетическими ресурсами растений создание и полноценное использование паспортных баз данных и баз данных по изучению комплекса признаков является первостепенной задачей для их гарантированного сохранения и использования. В настоящее время ценность всех собранных коллекций растений возрастает по мере представленности всей полноты информации в отдельности по каждому образцу. Единичей сохранение в любом генном банке является образец, который при поступлении в коллекцию должен быть зарегистрирован и четко идентифицирован для гарантированного достоверного сохранения и изучения данного поступления. Такая база данных представляет цели и систему сбора образцов коллекции. Системно составленная база данных, особенно паспортная, дает ценную всеобъемлющую информацию для специалистов по генетическим ресурсам растений, ботаников и селекционеров. Материалом для создания паспортной части базы данных является полная информация, занесенная в книги основного каталога, информация, которая может быть получена при просмотре оригинальных пакетов с оригиналами всех образцов коллекции, сведения из отчетов экспедиций, поездок по институтам страны и за рубежом, различные архивные материалы.

Коллекция овса традиционно состоит из двух независимых частей – коллекция культурных и диких видов овса. Каждая коллекция имеет свою паспортную базу данных со своей специфической структурой на основе международных стандартов (Multi-Crop Passport..., 2001). Коллекция овса ВИР состоит из трех частей: коллекция культурных видов, коллекция диких видов и образцы культурных видов с номерами предварительного каталога.

Для изучения и систематизации коллекции культурных видов овса паспортная часть коллекции в 1970-е годы была занесена в вычислительную машину «Электроника» и состояла из 5 полей. В дальнейшем при использовании программного обеспечения dBase III, а затем Corel Paradox9 for Windows было продолжено создание полной компьютерной паспортной базы данных, которая в настоящее время составляет более 19 506 кбайт и насчитывает 10 965 записей по 43 полям. Структура данной базы состоит из 6 блоков: 1 – номера каталога ВИР и номера интродукции – 2 поля; 2 – географическое происхождение образца – 12 полей; 3 – откуда и когда поступил образец в коллекцию – 6 полей; 4 – ботаническая

классификация – 7 полей; 5 – данные о названии образца, его идентификационные номера, статус и родословные – 8 полей; 6 – данные, необходимые для рассылки семян каждого образца, и данные о наличии идентифицированных аллелей генов – 8 полей (Loskutov et al., 2012). В отделе генетических ресурсов овса, ржи и ячменя паспортная БД связана с данными по размножению образцов коллекции и по дублированным коллекциям станций института. В специальное поле в конце базы вносится информация о наличии дублета, месте и годе последней репродукции.

Для изучения и систематизации коллекции диких видов овса при использовании программного обеспечения Corel Paradox9 for Windows была создана полная компьютерная паспортная база данных, которая в настоящее время составляет более 990 кбайт и насчитывает 1975 записей по 38 полям. Структура данной базы состоит из 5 блоков: 1 – различные номера, идентифицирующие образец в различных генных банках, – 8 полей; 2 – видовая принадлежность – 4 поля; 3 – географическое происхождение образца, включающее широту, долготу и высоту н. у. м., – 8 полей; 4 – откуда и когда поступил образец в коллекцию – 6 полей; 5 – данные, необходимые для рассылки семян этого образца, и данные о наличии идентифицированных аллелей генов – 12 полей.

Электронной паспортной БД по овсу предшествовала рукописная информация в журналах регистрации образцов коллекции. Все образцы, поступившие в коллекцию ВИР, и сведения о них регистрировались и регистрируются в журналах основного каталога. Первые журналы содержали такие сведения: номер каталога, год урожая, от кого получен образец, номер, за которым получен образец, название сорта, в каком виде получен (зерно, метелка), географическое происхождение, ботаническая разновидность, в каком количестве поступил образец (масса в фунтах или количество зерен). Например: номер каталога 959, год урожая 1913, был получен из Германии от господина Fischer Wirchenblatt, название сорта – Orig. Fischer – Wirchenblatt III, получен в метелках, разновидности – var. *mutica* – 96%, var. *aristata* – 4%.

Сведения из бумажных каталогов перенесены в электронную БД. На основе паспортной базы данных мы можем судить об объеме коллекции, истории ее создания, о географическом и ботаническом разнообразии.

Объем коллекции рода *Avena* L.

Коллекция культурных видов насчитывает 11 067 образцов (на 1 ноября 2022 г.) и включает образцы четырех культурных видов овса: *A. sativa* L. – 8665 образцов, *A. byzantina* K. Koch. (863 образца), *A. strigosa* Schreb. (213 образцов), *A. abyssinica* Hochst. (61 образец) и образцы, сочетающие признаки: *A. sativa* и *A. byzantina* (1163 образца). При работе с культурными видами овса в ВИР используют внутривидовую классификацию А. И. Мордвиной (1936) с изменениями Н. А. Родионовой (Rodionova et al., 1994).

В данной системе овес посевной *A. sativa* разделен на два подвида – пленчатый *A. sativa* subsp. *sativa* и голозерный *A. sativa* subsp. *nudisativa* (Husnot.) Rod. et Sold., каждый из которых имеет существенные различия по морфологическим признакам строения метелки и цветковых чешуй. В коллекции 235 голозерных образцов (*A. sativa* subsp. *nudisativa*), остальные – пленчатые (*A. sativa* subsp. *sativa*). Пленчатый подвид наиболее полиморфный, разделяется на четыре группы разновидно-

стей, в которые входят 27 разновидностей и 17 форм. Две группы разновидностей – *A. sativa* subsp. *sativa* convar. *sativa* Rod. et Sold. с раскидистой метелкой и *A. sativa* subsp. *sativa* convar. *orientalis* (Schreb.) Mordv. с одногривой метелкой – типичные культурные формы овса, а две другие – *A. sativa* subsp. *sativa* convar. *volgensis* Vav. с прочным соединением цветков в колоске и *A. sativa* subsp. *sativa* convar. *asiatica* Vav. с удлиненными колосовыми чешуями – включают сорно-полевые формы, засоряющие посевы (Loskutov, 2007). В коллекции овса 207 образцов *A. sativa* с одногривой метелкой, остальные образцы с раскидистой метелкой. Разновидности различаются по окраске цветковой чешуи. Большинство образцов имеют светлую окраску (белую и желтую) чешуи, и только 580 образцов с темной окраской (серые и коричневые). 22% образцов *A. sativa* – популяции, которые объединяют от 2 до 6 разновидностей.

Коллекция *A. byzantina* в 10 раз меньше коллекции *A. sativa* (863 образца) и отличается меньшим числом разновидностей. Вид *A. byzantina* разделен на три подвида: *A. byzantina* subsp. *byzantina* Rod. et Sold. (овес византийский пленчатый), включающий две группы разновидностей: *A. byzantina* subsp. *byzantina* convar. *byzantina* Rod. et Sold. с раскидистой метелкой и *A. byzantina* subsp. *byzantina* convar. *secundae* Mordv. et Sold. с одногривой метелкой; подвид *A. byzantina* subsp. *nudipubescens* (Malz.) Mordv. с опушенными узлами соломки и подвид *A. byzantina* subsp. *denudata* (Hauskn.) Rod. et Sold. (овес византийский голозерный). Первый подвид имеет 13 разновидностей и две формы, второй – две разновидности и две формы, а третий представлен в коллекции одним гербарным образцом, выделенным из пленчатого образца *A. byzantina*. Разновидности этого вида различаются по окраске цветковой чешуи (белая, кремовая, красно-бурая, серая или черная, коричневая), по количеству остей (1 или 2), по наличию или отсутствию опушения нижней цветковой чешуи. Большинство образцов *A. byzantina* в коллекции ВИР имеют красно-бурную окраску цветковой чешуи, две ости без опушения и раскидистую метелку.

Византийский голозерный овес существует только виртуально, так как это очень редкая форма. Впервые она была описана С. Haussknecht в Гамбургском ботаническом саду, в коллекцию ВИР она была выписана А. И. Мальцевым из Америки от Ф. Коффмана в виде гербарного образца (Rodionova et al., 1994). Описание этой формы дается А. И. Мальцевым (Malzew, 1930), но в семенной коллекции она не была зарегистрирована. В 2004 г. на полях НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург) на одной из делянок были обнаружены растения с характерными признаками голозерности у одного местного образца, относящегося к культурному гексаплоидному виду *A. byzantina*, собранному на территории Турции и полученному из Канады. По описанию было определено, что эта форма относится к подвиду *A. byzantina* subsp. *denudata* (Hauskn.) Rod. et Sold.).

Коллекция *A. strigosa* представлена тремя подвидами: *A. strigosa* subsp. *strigosa* (Schreb.) Thell. (овес щетинистый, или песчаный) с узким длинным зерном, *A. strigosa* subsp. *brevis* Husn. (овес песчаный короткий) и *A. strigosa* subsp. *nudibrevis* (Vav.) Kobyl. et Rod. (овес песчаный голозерный). Разделение песчаного овса на подвиды было сделано на основе гибридологического анализа при скрещивании всех известных форм данного вида (Мордвикина, 1929). Подвид *A. strigosa* subsp. *strigosa* включает

10 разновидностей и 4 формы, подвид *A. strigosa* subsp. *brevis* – 8 разновидностей и три формы (Loskutov, 2007). Голозерный подвид *A. strigosa* subsp. *nudibrevis* в нашей коллекции представлен 12 образцами с очень мелкими неопушенными зерновками. Эта форма первоначально была описана К. Линнеем как *A. nuda* L., обладающая 3-цветковыми колосками с двумя остями на нижних цветковых чешуях (Linnaeus, 1753). Разновидности *A. strigosa*, подчиняясь закону гомологических рядов Н. И. Вавилова (Vavilov, 1965), различаются по окраске цветковой чешуи (белая, желтая, серая, коричневая, черная), по наличию или отсутствию опушения цветковой чешуи. Большинство образцов в коллекции имеют серую окраску и не имеют опушения. Основу коллекции этого вида составляют сборы в 1926 г. в Испании и Португалии, сделанные Н. И. Вавиловым.

Вид культурного овса *A. abyssinica* наиболее мономорфный, не имеет деления на подвиды и включает

Baum et Fedak (11 образцов), *A. damascena* Rajh. et Baum (5 образцов), *A. longiglumis* Durieu (12 образцов), *A. wiestii* Steud. (17 образцов), *A. hirtula* Lagas. (13 образцов), *A. atlantica* Baum (8 образцов); тетраплоидные *A. macrostachya* Balan. (1 образец), *A. barbata* Pott (98 образцов), *A. vaviloviana* Mordv. (46 образцов), *A. agadiriana* Baum et Fedak (8 образцов), *A. magna* Murph. et Terr. (16 образцов), *A. murphyi* Ladiz. (3 образца), *A. insularis* Ladiz. (2 образца); гексаплоидные *A. fatua* L. (221 образец), *A. occidentalis* Durieu (8 образцов), *A. sterilis* L. (1040 образцов), *A. ludoviciana* Durieu (435 образцов) (рис. 1). Данная коллекция собрана из 50 стран мира, преимущественно из центров происхождения и разнообразия рода – стран Каспийского, Черноморского и Средиземноморского бассейнов. Больше всего образцов поступило из Турции (341), Ирана (316), Израиля (268), Эфиопии (151), Азербайджана (137), Марокко (126), Туниса (84), Алжира (78), Ирака (74), Ливана (43), Сирии (32).

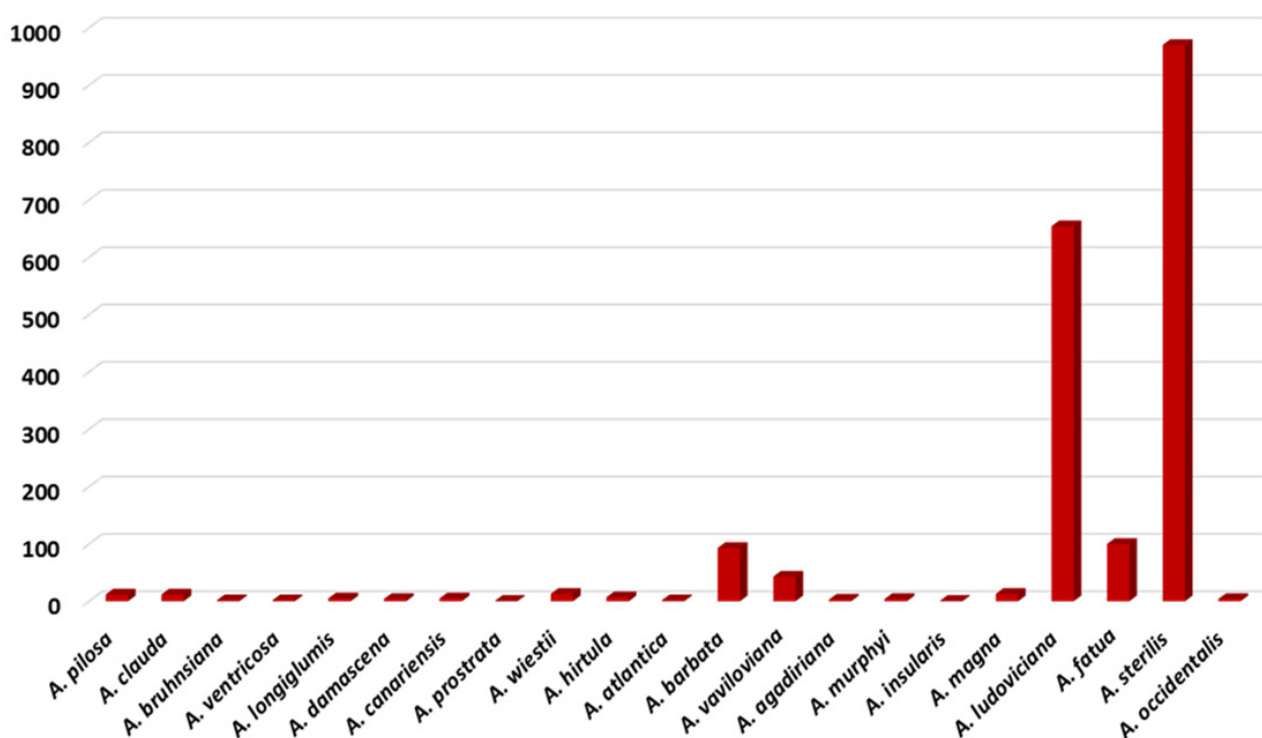


Рис. 1. Распределение образцов диких видов овса коллекции ВИР

Fig. 1. Distribution of accessions of wild oat species from the VIR collection

6 разновидностей, различающихся по окраске цветковой чешуи (белая, желтая, серая и коричневая), наличию или отсутствию опушения цветковой чешуи. Кроме того, этот вид не имеет голозерных форм, в отличие от трех предыдущих видов. Коллекция ВИР этого узкоэндемичного вида из Эфиопии насчитывает всего 61 образец. Эти образцы были собраны в 1927 г. Н. И. Вавиловым, в 1960–1970 гг. экспедицией ВИР, а также получены от Б. Баума (B. Baum) в 1976 г. из Канады.

По образу жизни все культурные виды овса делятся на яровые и зимующие формы. В коллекции 752 образца зимующего овса. Все остальные образцы – яровые.

Коллекция диких видов овса насчитывает 1975 образцов (на 1 ноября 2022 г.) и включает 22 вида: диплоидные *A. pilosa* M. B. (12 образцов), *A. clauda* Durieu (13 образцов), *A. ventricosa* Balan. (2 образца), *A. bruhsiana* Grun. (1 образец), *A. prostrata* Ladiz. (1 образец), *A. canariensis*

При работе с дикими видами овса используется классификация Н. А. Родионовой (Rodionova et al., 1994) с дополнением И. Г. Лоскутова (Loskutov, 2007, Loskutov, Rines, 2011). Первое изучение видовой коллекции было проведено в 1970–1971 гг., когда она насчитывала только 160 образцов (Trofimovskaya et al., 1976). В последующие годы коллекция существенно выросла, и только за последние десятилетия путем выписки она пополнилась более чем 400 новыми образцами, относящимися к традиционным и вновь описанным видам, из всех регионов происхождения и разнообразия рода *Avena* – бассейнов Средиземного, Каспийского и Черного морей. В коллекцию были привлечены дикие виды овса, которые упоминались в системе Н. А. Родионовой и др. (Rodionova et al., 1994), но не были изучены по морфологическим признакам. Среди них были формы диплоидных видов *A. atlantica*, *A. damascena*, *A. prostrata*, тетраплоидных *A. agadiriana*,

A. murphyi, *A. macrostachya* и гексаплоидного *A. occidentalis*. Кроме этого, в коллекцию были привлечены многолетний примитивный перекрестноопыляемый тетраплоидный вид *A. macrostachya* и недавно описанный тетраплоидный вид *A. insularis*.

На основе комплексного изучения всего видового потенциала была сделана уточненная система видов рода *Avena*. Предлагается делить весь род на два подрода *Avenastrum* K. Koch, к которому относятся многолетние овсянородные травы, и типовой подрод *Avena*, куда относятся все однолетние виды овса. Типовой подрод *Avena* подразделяется на две секции: *Aristulatae* (Malz.) Lusk. и *Avenae* (Loskutov, 2007) (табл. 2).

ненной системе видам и определен их ботанический диагноз (Loskutov, 2007).

История создания коллекции

Истории создания коллекции овса более ста лет. Начало коллекции было положено Р. Э. Регелем в Бюро по прикладной ботанике, созданном при Ученом комитете Министерства земледелия и государственных имуществ (Loskutov, 2009). Первые поступления образцов в коллекцию датируются урожаем 1901 г. (77 образцов): первые 12 – это сорта из Германии от Эрфуртской семенной торговли Haage et Schmidt, 65 – сорнополевые образцы из

Таблица 2. Система подрода *Avena* рода *Avena* L. (Loskutov, 2007)

Table 2. Taxonomy of the *Avena* subgenus of the genus *Avena* L. (Loskutov, 2007)

Секция / Section	Виды / Species			Геном / Genome	2n
	Дикие / Wild		Культурные / Cultivated		
	осыпающиеся цветками / floret-shedding	осыпающиеся колосками / spikelet-shedding			
Aristulatae (Malz.) Losk.	A. clauda Dur.	A. pilosa M.B.		Cp	14
	A. longiglumis Dur.			Al	
	A. damascena Rajh. et Baum			Ad	
	A. prostrata Ladiz.			Ap	
	A. wiestii Steud. A. hirtula Lagas.	A. atlantica Baum	A. strigosa Schreb.	As	
	A. barbata Pott. A. vaviloviana Mordv.		A. abyssinica Hochst.	AB	28
Avena		A. ventricosa Balan. A. bruhnsiana Grun.		Cv	14
		A. canariensis Baum		Ac	
		A. agadiriana Baum et Fed.		AB	28
		A. magna Murphy et Terr. A. murphyi Ladiz.		AC	
		A. insularis Ladiz.		CD?	
	A. fatua L. A. occidentalis Dur.	A. sterilis L. A. ludoviciana Durieu	A. byzantina K. Koch A. sativa L.	ACD	42

Для определения всех видов данного рода были разработаны новые ключи. Необходимость изменения ключей для определения видов была продиктована тем, что современная система видов, в соответствии с последним изданием ботанической номенклатуры, должна была иметь строго дихотомическую структуру на уровне тезы и антитезы. С другой стороны, многим видам, которые упоминались в предыдущей системе, не были даны ключи для их определения. Среди таких диких видов были диплоидные *A. prostrata*, *A. damascena*, *A. atlantica*, тетраплоидные *A. murphyi*, *A. agadiriana*, *A. macrostachya* и гексаплоидный *A. occidentalis*, а также вновь описанный тетраплоидный вид *A. insularis*. Ключи для определения видов рода *Avena* были составлены на основании изучения морфологических признаков образцов мировой коллекции всего видового разнообразия. Вместе с ними представлена вся синонимика по всем приведенным в уточ-

различных губерний России – все примеси к ячменю (*A. fatua*, разновидности *A. sativa*). Источники поступления в коллекцию были различны: сборы сотрудников Бюро, выписка сортов из Германии (Эрфуртская семенная торговля Haage et Schmidt), Франции (селекционно-семеноводческая компания Vilmorin-Andrieux), поступления от частных лиц, из великокняжеских усадеб, с опытных станций, со Второй Всероссийской Санкт-Петербургской сельскохозяйственной выставки 1912 г., из частных коллекций, от музея Нижегородского губернского земства и др. В 1907 г. в Бюро были приглашены новые сотрудники: Н. И. Литвинов, который приступил к изучению русского овса, и А. И. Мальцев, который изучал сорную растительность России (Loskutov, 2009). В первом бумажном каталоге фамилия А. И. Мальцева встречается в нескольких местах. Напротив образцов *A. fatua* в примечании указано «отдан А. И. Мальцеву»

или в графе от кого получен образец указано «А. И. Мальцев культив. около г. Коричи (Курская губерния)». А. И. Мальцевым был собран обширный гербарий диких видов овса, детальное описание которого можно найти в его фундаментальной монографии (Malzew, 1930).

В 1911 г. в журнале регистрации образцов появляются записи: «получено через Н. И. Вавилова от Московской опытной станции». Некоторые образцы из частных коллекций уже при поступлении были невсхожими. Так, у 13 образцов из Петербургского сельскохозяйственного музея (коллекция Афгера) в графе «год урожая» записано: «очень давнишние года, лет 40–50 тому назад». До 1917 г. коллекция составляла 1163 образца. С назначением Н. И. Вавилова сначала помощником заведующего, а в конце 1920 г. – заведующим Отделом прикладной ботаники и селекции работа по сбору и сохранению коллекции стала более упорядоченной. Во время своей первой поездки за рубеж в США Н. И. Вавилов организует в Нью-Йорке представительство Отдела во главе с русским агрономом Д. Н. Бородиным. За непродолжительный период коллекция института пополнилась разнообразным семенным материалом (более 230 образцов), присланным Д. Н. Бородиным (Loskutov, 2009). Сам Н. И. Вавилов и сотрудники Отдела, а затем (с 1924 г.) Всесоюзного института прикладной ботаники и новых культур неоднократно выезжали в экспедиции по территории СССР и за рубеж и привозили собранный материал. Н. И. Вавилов с 1921 по 1940 г. участвовал в 9 экспедициях и 17 поездках за рубеж, из которых присылал и привозил собранные образцы. Так, из экспедиции 1926–1927 гг. в страны Средиземноморья и Абиссинию Н. И. Вавилов привез 411 образцов овса, представлявшие местное и староместное разнообразие, относящееся ко всем культурным видам овса: *A. sativa*, *A. byzantina*, *A. strigosa* и *A. abyssinica*, а также некоторые дикие виды.

Сотрудники ВИР тоже принимали участие в экспедиционных сборах. В коллекции овса есть образцы, собранные и привезенные А. И. Мордвинкиной, В. Е. Писаревым, М. Т. Петропавловским, В. В. Талановым, Ф. Х. Бахтеевым, Ф. Я. Блиновым, Е. И. Барулиной, Е. И. Синской, Е. А. Столетовой, П. М. Жуковским, А. А. Орловым, Ф. Д. Лихоносом, Н. В. Ковалевым, В. Т. Красочкиным, Н. Н. Кулешовым, В. В. Марковичем и др. Всего с 1922 по 1933 г. сотрудниками ВИР проведено около 30 экспедиций (Лоскутов, 2009). В пополнении коллекции овса принимали участие и зарубежные специалисты: А. A. Dumon из Бельгии, N. W. Weibull, Heribert-Nilsson и N. Nilsson-Ehle из Швеции, E. Meyer и Rumer из Германии, W. Robb из Великобритании, H. W. Alberts, J. Harlan, G. Reed, M. Warburton, Woodworth из США.

При Н. И. Вавиле начался регулярный пересев коллекции для поддержания образцов в живом виде, так как многие образцы утрачивались из-за потери всхожести. С 1920 по 1940 г. коллекция значительно увеличилась, преимущественно за счет местных сортов российского и европейского происхождения. Последними большими поступлениями этого периода является местный материал, собранный сотрудниками ВИР в западных районах Белоруссии и Украины. Во время экспедиции на Украину Н. И. Вавилов был арестован (Loskutov, 2009).

К началу Великой Отечественной войны в 1941 г. коллекция овса ВИР насчитывала 9924 образца. Подавляющую часть этой коллекции составлял ценнейший материал – староместные и местные сорта-популяции, собранные со всех губерний Российской Империи и из большинства стран мира. Во время войны и трагическо-

го блокадного периода коллекция пострадала. Некоторые образцы потеряли всхожесть из-за хранения в неотапливаемых помещениях института и попадания влаги в коробки. Инвентаризация коллекции, проведенная после 1945 г., выявила образцы, потерявшие всхожесть, дублетные образцы, дикие виды. Все они были исключены из коллекции культурных видов овса. Из первой тысячи образцов до наших дней под своими первоначальными номерами сохранились два образца: к-928 и к-959. Часть утерянных образцов была впоследствии восстановлена. После инвентаризации число образцов, поступивших до 1945 г., сократилось, и коллекция составила 5245 образцов.

Коллекция овса начала пополняться с 1945 г. силами экспедиций и сборов в новых районах СССР: в Карело-Финской ССР (экспедиция А. И. Мордвинкиной в 1945 г.), в Латвийской ССР, Литовской ССР, Эстонской ССР, Молдавской ССР, в странах Восточной Европы: Восточной Германии, Югославии, Чехословакии, Болгарии и др. Зарубежные экспедиции ВИР возобновились в 1954 г. (Loskutov, 2009). Коллекция овса пополнилась образцами, собранными П. М. Жуковским во Франции (1954 г.) и в Аргентине (1955 г.), Г. И. Мирошниченко в Болгарии (1959–1960 гг.), В. Ф. Дорофеевым в Турции (1967 г.), Л. Е. Горбатенко в Испании (1977 г.), А. Ф. Мережко в Мексике (1977 г.), Н. К. Лемешевым в Бразилии (1984 г.) и в Канаде (1994 г.), И. Г. Лоскутовым в США (1991 г.) и на Сардинии (2012 г.) и др. В коллекции овса более двух тысяч образцов, собранных экспедициями ВИР. Многие образцы поступили в коллекцию по выписке или были привезены сотрудниками института из командировок по нашей стране и за рубежом (рис. 2). В пополнении коллекции овса принимали участие и зарубежные специалисты: I. Tamm, K. Annamaa из Эстонии, N. Antonova из Болгарии, A. Bjornstad из Норвегии, H. Stubbr, Schiemann, A. Bund из Германии, C. Howard из Великобритании, P. Hozlar из Словакии, E. Paczos-Grzeda, W. Podyma, B. Lapinski из Польши, J. Sebast, L. Nedomova, M. Zavrelowa из Чехии, I. Rashal, S. Zute из Латвии, B. Baum, J. Chang, J. Nielsen, A. Diederichsen из Канады, H. Bockelman, F. Kolb, H. C. Murphy из США, C. Ren из Китая, L. C. Federizzi из Бразилии, Z. Gul из Индии, T. Morikawa из Японии, M. Mackay, P. Zwer из Австралии.

Надо отметить, что коллекция овса и вся селекционная работа по этой культуре в СССР подверглись репрессиям в 1960-е годы, так как, по представлениям Т. Д. Лысенко, овес, особенно в Сибири, порождал овсюг. Были даны указания изъять коллекцию овса из хранилищ ВИР и закрыть селекцию этой культуры в СССР. Результатом этих действий стало полное сворачивание работы по изучению коллекции и резкое сокращение поступления коллекционных образцов в коллекцию ВИР. В то же время вся селекционная работа в СССР по овсу была приостановлена, что явилось впоследствии причиной появления на полях нашей страны большого числа европейских сортов овса, зарегистрированных в Госсортокомиссии. Российская Федерация смогла переломить ситуацию только к началу 1990-х годов, обеспечив преимущество российских сортов над зарубежными.

В послевоенные годы коллекция пополнилась еще на 5415 образцов и на 1 ноября 2022 г. составила вместе с дикими видами 13 190 образцов. В основном коллекция пополнялась образцами, представляющими ботаническую, селекционную и генетическую ценность, – это ботанико-географическое разнообразие форм, лучшие современные селекционные сорта и генетические линии

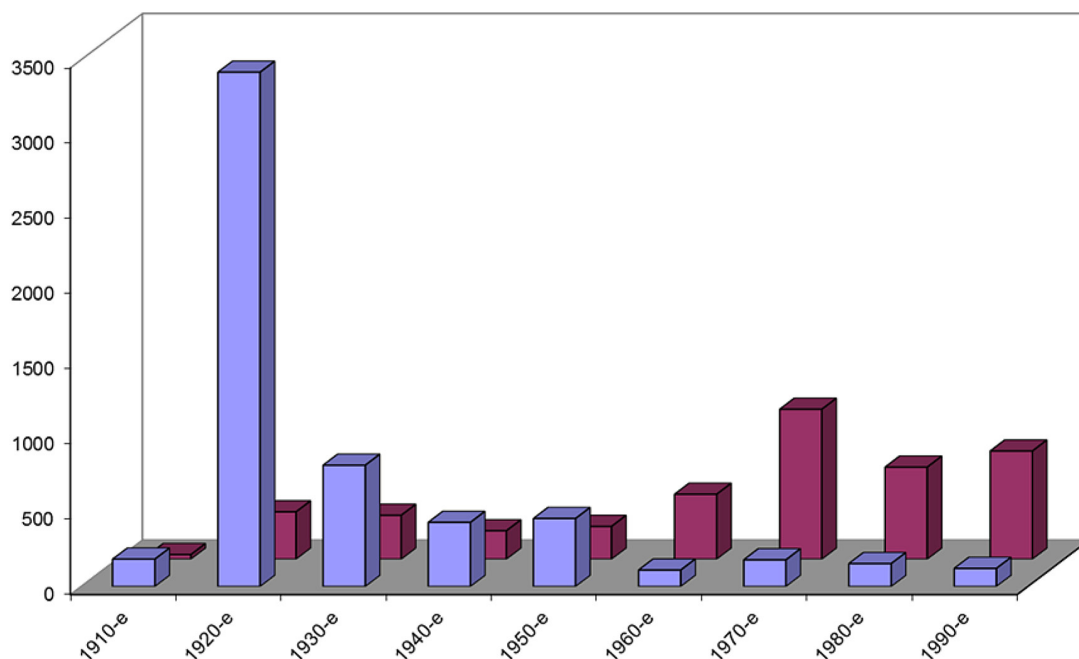


Рис. 2. Распределение местных и селекционных сортов овса по годам сбора

Fig. 2. Distribution of oat landraces and cultivars developed through breeding by years of collecting

с известными аллелями генов, контролирующими важные селекционные признаки. Каталог коллекции овса ВИР имеет сквозную нумерацию, и номера утраченных образцов не присваиваются новым образцам. Каталог продолжается в сторону увеличения, поэтому в настоящее время коллекция начинается с номера к-928 и заканчивается номером к-15974.

Коллекция диких видов овса имеет не такую богатую историю, но она тоже начиналась со сборов А. И. Мальцева. Собрав обширный гербарий по видам овса (*Avena*), он разработал свою систему данного рода (Malzew, 1930). Кроме гербарных образцов была собрана семенная коллекция этих видов. В дальнейшем коллекция была пополнена сборами Н. И. Вавилова. К большому сожалению, данная коллекция была в большей степени утрачена и в ней остались не более 20 образцов, собранных А. И. Мальцевым, Н. И. Вавиловым, П. М. Жуковским и А. И. Мордвинкиной. Остальные образцы были собраны с середины 1950-х годов сотрудниками ВИР в результате экспедиционных обследований различных территорий СССР, России и зарубежных стран – В. Ф. Дорофеевым, Т. Н. Ульяновой, В. Н. Солдатовым, Е. В. Мажоровым, Р. А. Удачным, И. Г. Лоскутовым и многими другими. Кроме того, в формировании коллекции принимали участие и наши зарубежные коллеги – Н. W. Holden и M. Leggett (Великобритания), G. Ladizinsky (Израиль), K. J. Frey и H. Bockelman (США), M. Peres de la Vega (Испания) и другие. Стоит отдельно отметить, что в 1976 г. в ВИР из Канадского генного банка на дублитное хранение была передана коллекция диких видов овса, собранная в 1960–1970-е годы Б. Баумом в странах Средиземноморского бассейна (Baum et al., 1975), в количестве около 1300 образцов. В последнее время, начиная с 1990-х годов, коллекция пополнялась на основе выписки из Канадского генного банка уникальных образцов диплоидных и тетраплоидных видов овса при участии А. Diederichsen'a (Канада), а также выписки образцов из крупнейших генных банков США, Великобритании, Германии и других стран.

Статус образцов и географическое разнообразие мировой коллекции

По статусу образцы коллекции делятся на местные сорта, селекционные сорта и линии и генетические ресурсы. По определению Е. Н. Синской: «местные сорта – это сорта, созданные в результате длительного действия естественного и простейших приемов искусственного отбора при возделывании культуры в определенной местности. Многие местные сорта созданы в результате народной селекции и служат ценным исходным материалом для выведения селекционных сортов, а селекционные сорта – это сорта, созданные в научно-исследовательских учреждениях на основе научных методов селекции. Они отличаются большой выравненностью по морфологическим признакам и хозяйственно-биологическим свойствам» (Sinskaya 1950, p. 31). В коллекции овса сохраняется 5865 местных сортов, 2980 селекционных сортов и 2157 гибридных линий. Коллекция овса отличается большим разнообразием местных сортов, собранных в 20–30-е годы XX столетия Н. И. Вавиловым и его соратниками.

Овес выращивают во многих странах мира, и в коллекции представлены образцы со всех континентов. В том числе 6058 образцов из Европы (55,6%), 2282 – из Азии (20,8%), 2154 – из Северной и Южной Америки (19,7%), 247 – из Африки (20,2%) и 184 – из Австралии и Новой Зеландии (1,7%). (рис. 3).

Коллекция культурного овса собрана в 82 странах мира. Больше всего образцов поступило из России (3182), США (1495), Германии (494), Украины (487), Казахстана (478), Швеции (288), Канады (265), Белоруссии (262), Испании (250), Великобритании (242), Турции (213). Кроме того, есть страны, которые не специализируются на возделывании овса и поэтому представлены одним образцом – Бутан, Камерун, Корея, Уганда, от двух до 10 образцов – из Албании, Афганистана, Ирана, Исландии, Кении, КНДР, Колумбии, Кыргызстана, Ли-

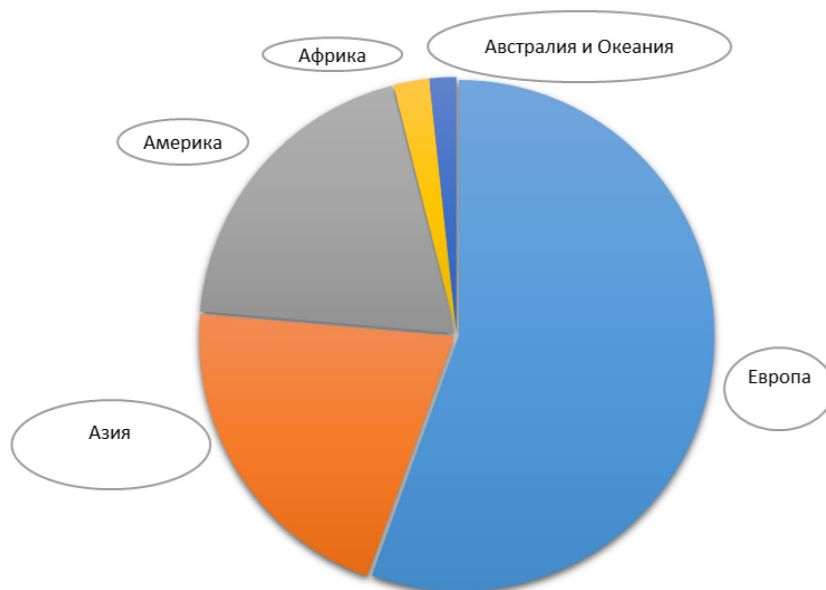


Рис. 3. Распределение образцов овса коллекции ВИР по континентам

Fig. 3. Distribution of oat accessions from the VIR collection by continents

вии, Сирии, Таджикистана, Черногории и Южной Африки. В коллекции 23 страны представлены от 13 до 50 образцами и 26 стран – от 52 до 185 образцами.

Образцы Российской Федерации получены из всех областей и краев страны. Из 3182 образцов коллекции: 2052 – из Европейской части, а 1128 – из Азиатской части. Наиболее полно представлены образцы из Европейской части – Ленинградская обл. (193 образца), Вологодская обл. (178), Кировская обл. (141), Нижегородская обл. (124) и Республика Татарстан (175), из

Азиатской части – Приморский край (175 образцов) и Красноярский край (138). Кроме того, в коллекции представлены все 12 регионов РФ: Северный (1) – 146 образцов, Северо-Западный (2) – 581, Центральный (3) – 168, Волго-Вятский (4) – 393, Центрально-Черноземный (5) – 106, Северо-Кавказский (6) – 277, Средневожский (7) – 296, Нижневожский (8) – 43, Уральский (9) – 114, Западно-Сибирский (10) – 330, Восточно-Сибирский (11) – 455, Дальневосточный (12) – 275 образцов (рис. 4).

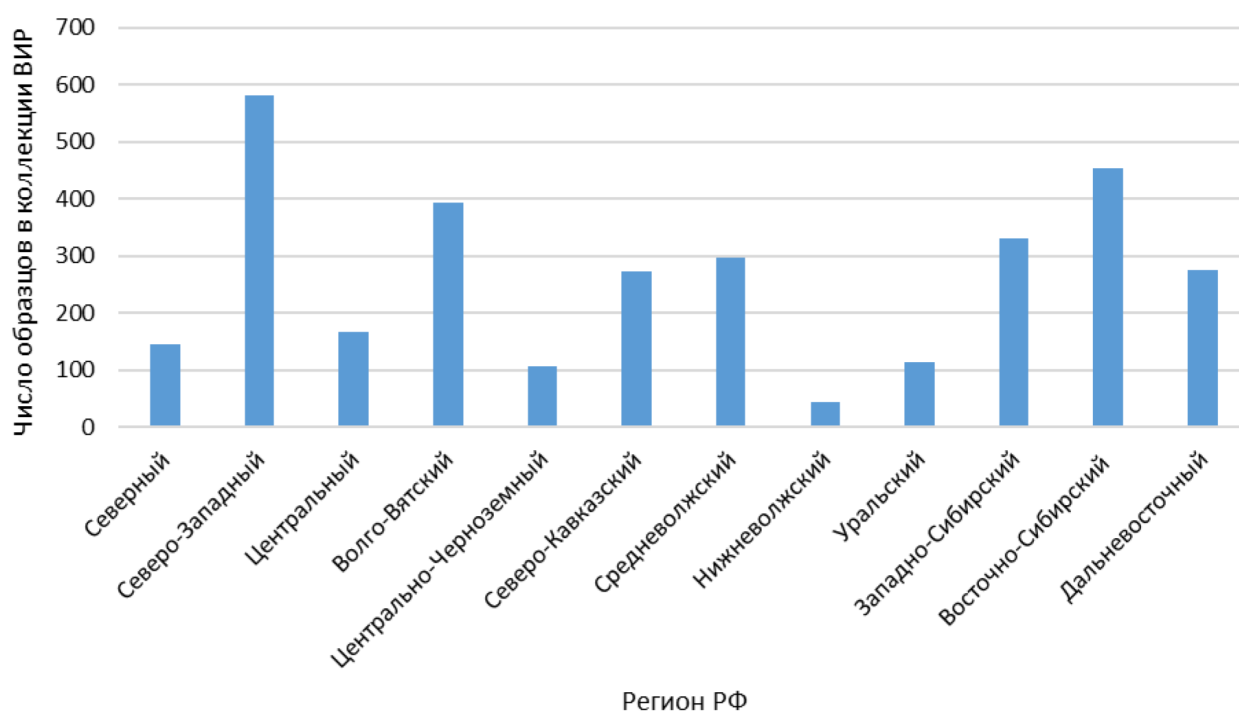


Рис. 4. Распределение российских образцов овса в коллекции ВИР по регионам РФ

Fig. 4. Distribution of Russian oat accessions within the VIR collection by regions of the Russian Federation

Результаты изучения коллекции и успехи селекции овса

Главная задача селекции – повышение продуктивности сортов, то есть вновь создаваемый сорт должен превышать предыдущий по урожайности зерна. Основные требования, предъявляемые к сортам: 1. Высокая и стабильная урожайность. 2. Устойчивость к неблагоприятным условиям произрастания. 3. Комплексная устойчивость к болезням и вредителям. 4. Приспособленность к механизированному возделыванию. 5. Высокое качество продукции (Sinskaia, 1950).

Овес – это культура, которая используется целиком. В связи с этим есть три направления селекции: 1) на продовольственное зерно; 2) на комбикорм и 3) на зеленый корм и выпас. Продовольственные сорта должны иметь выравненное крупное зерно, низкую пленчатость, высокую натуру, высокое содержание белка и других компонентов. Зерно для корма животных (в частности для лошадей) должно иметь высокое содержание белка, лизина и крахмала. На цвет пленок также обращают внимание. Пищевой овес должен иметь светлую цветковую пленку (белую или желтую). Для питания лошадей используют овес и со светлой, и с темной пленкой (коричневой). Овес на зеленый корм должен давать хороший урожай зеленой массы в чистых посевах и в смешанных посевах с бобовыми культурами. Овес как пастбищное растение используется в Австралии (*A. sativa* и *A. byzantina*) и в Бразилии (*A. strigosa*). Для этого созданы специальные сорта, которые есть в коллекции ВИР: 'Amby', 'Nobby', 'Yilgarn', сорта *A. strigosa* и др. Начиная создавать сорт, селекционеры решают вопрос об исходном материале, в качестве которого могут быть использованы культурные и дикие формы растений. «Приступая к селекции, прежде всего надо максимально использовать местный материал в смысле выделения из него наиболее продуктивных, наиболее ценных форм» (Vavilov, 1935, p. 4). Общеизвестно, что одной из родительских форм в скрещивании должны быть сорта или селекционные линии, хорошо приспособленные к местным почвенно-климатическим условиям. Их, как правило, используют в качестве материнского компонента (Batalova, 2000).

Российская Федерация обладает разнообразным набором районированных сортов овса, хорошо адаптированных для различных регионов России. Все сорта, созданные усилиями советских и российских селекционеров, в большинстве случаев на базе коллекции ВИР, обладают рядом свойств и признаков, благодаря которым все они были внесены в Реестр селекционных достижений России. В то же время система государственного сортового испытания во главу угла ставит получение наивысшей зерновой продуктивности каждого районированного сорта. В настоящее время с изменением направлений селекционного процесса, кроме традиционных, наряду с зерновой продуктивностью, устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам среды, большое значение приобретают качественные показатели зерна овса в связи с тем, что эта культура становится из зернофуражной источником пищевых, функциональных и диетических продуктов для человека. И наиболее перспективными качественными показателями зерна кроме традиционных – содержания белка, лизина и крахмала – становится соотношение всех видов аминокислот, в том числе незаменимых для организма человека, содержание масла и различное соотношение отдельных жирных кис-

лот, содержание стеролов, токоферолов, β -глюканов, комплекса витаминов, широкого спектра антиоксидантов и, в последнее время, авенатрамидов (Loskutov, Polonskiy, 2017; Leonova et al., 2020).

Ранее изучаемые качественные показатели определяли в основном ценность овса как зернофуражной культуры, в настоящее время ведется изучение воздействия отдельных компонентов зерна овса на организм человека для пищевых, диетических и лечебных целей. Проводятся эксперименты по использованию овсяных диет и продуктов из овса в лечении сердечно-сосудистых заболеваний, заболеваний кишечника, ряда форм раковых опухолей, целиакии, различных видов аллергии, болезней суставов и кожных покровов (Bityutskii et al., 2017, 2019; Polonskiy et al., 2020).

По большинству из перечисленных качественных показателей зерна овса ВИР проводит изучение своей коллекции. В результате изучения были выделены источники качественных признаков, которые могут использоваться напрямую или с помощью современных технологий вовлекаться в селекционный процесс для получения разнообразных современных высококачественных сортов овса (Loskutov et al., 2019; 2020).

Изучением генетических ресурсов овса с точки зрения таксономии, эволюции, генетики и практической селекции, связанной с биотической и абиотической устойчивостью и проблемами повышения качества зерна, в мире занимаются довольно много университетов, научных и селекционных учреждений. Сотрудниками этих учреждений были представлены результаты своих исследований на 10 Международной конференции по овсу (10th International Oat Conference, <http://oats2016.org/>), проведение которой было доверено организовать Всероссийскому институту генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) в Санкт-Петербурге в 2016 г. (Abstracts..., 2016).

Богатейшими источниками местных и селекционных сортов различного эколого-географического происхождения является мировая коллекция овса. Коллекция ВИР – одна из самых больших в мире и самая репрезентативная по составу. Она была и продолжает оставаться источником исходного материала для селекции. Большинство созданных в России и странах СНГ сортов овса берут свое начало в ВИР (Batalova, 2014; Fomina, 2009; Vasyukovich et al., 2009; Ganichev, Isachkova, 2009; Komarova, 2009; Khaletsky, 2009; Abugalieva et al., 2013, Kabashov et al., 2020).

Лучшие сорта включены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в различных регионах РФ. Всего на 2019 г. в Государственный реестр включено 5 сортов зимующего и 123 сорта ярового овса (State Register..., 2021), в том числе 106 сортов селекции РФ и 22 зарубежных. Зарубежные сорта – из шести стран: Белоруссия (2), Украина (2), Швеция (2), Финляндия (1), Польша (1), Германия (14). Сорта из Германии с желтой (13) и белой (Ivory) пленкой, крупнозерные, среднеранние, большинство – ценные по качеству. Сорта зимующего овса созданы в Адыгейском НИИСХ и рекомендованы к использованию в Северо-Кавказском регионе. Из списка ярового овса по направлению использования 5 сортов относятся к кормовым ('Аргумент', 'Иртыш 22', 'Льговский 82', 'Памяти Балавина', 'Универсал 1' и 81 сорт к ценным по качеству зерна, в том числе все 13 голозерных сортов. К ценным относят продовольственные сорта с показателями пленчатости не выше 26%, выравненности зерна не ме-

нее 85%, выхода крупы более 59% и кулинарной оценкой не менее 4,5 баллов. Сорты селекции Северо-Восточного селекцентра включены в список ценных по качеству (Batalova, Lisitsyn, 2008). Это сорта 'Аргамак', 'Бекас', 'Бербер', 'Вятский', 'Кречет', 'Медведь', 'Сапсан', 'Факир' и 'Фауст'. По срокам созревания сорта в Государственном реестре относятся к раннеспелым (77) и среднепоздним (8). По регионам допуска: 65 сортов рекомендованы к использованию в одном регионе, 25 – в двух регионах, 25 – в трех регионах, сорта 'Аргамак' и 'Грум' – в четырех, 'Борец' и 'Дэнс' – в пяти регионах, 'Конкур' и 'Яков' – в шести, 'Скакун' – в восьми регионах. Наиболее широко используемые сорта 'Скакун', 'Конкур', 'Яков', 'Борец' и 'Грум' созданы в Ульяновском НИИСХ с использованием гибридного материала Московского НИИСХ, сорта 'Аргамак' и 'Дэнс' – селекции НИИСХ Северо-Востока. Сорта, включенные в Государственный реестр селекционных достижений, поступают в коллекцию ВИР от селекционеров или через Госкомиссию РФ. Почти все сорта, указанные в Реестре на 2021 г., есть в коллекции ВИР.

Заключение

Мировая коллекция культурных видов овса ВИР является одной из самых больших в мире и состоит из 13 190 образцов, 11 067 из которых относятся к культурным видам. В коллекции хранится и поддерживается в живом виде все видовое разнообразие рода, представленное мировым эколого-географическим разнообразием местных и селекционных сортов и диких популяций. Большинство созданных в РФ сортов имеют в своей родословной образцы, полученные из ВИР. Паспортная БД содержит подробные сведения обо всех образцах коллекции, что позволяет улучшать работу с коллекцией овса, в том числе гарантированно сохранять образцы коллекции и эффективно их изучать и использовать в виде исходного материала для селекции в ведущих селекционных учреждениях Российской Федерации.

Таким образом, мировая коллекция овса ВИР имеет фактическую и потенциальную ценность для устойчивого развития экологически безопасного сельского хозяйства, эффективной переработки сельскохозяйственной продукции и создания безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания. Именно поэтому проблемы систематического сбора, гарантированного сохранения, комплексного изучения и рационального использования генетических ресурсов культурных растений и их диких родичей являются государственными, стратегически важными и непосредственно связаны с обеспечением национальной и глобальной продовольственной безопасности.

References / Литература

- Abstracts of oral and poster presentation. OATS 2016 – The 10th International Oat Conference: Innovation for Food and Health. St. Petersburg: VIR; 2016. Available from: http://oats2016.org/files/29614_BLOCK_farexpo_tezisy_kongress.pdf [accessed Apr. 20, 2022].
- Abugalieva A.S., Sereda G.A., Chudinov V.A., Sariev B.S., Turuspekov Y.K. Agronomic traits variability of world collection of oat grown in three regions of Kazakhstan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2013;171:168-174. [in Russian] [Абугалиева А.С., Середина Г.А., Чудинов В.А., Сариев Б.С., Туруспеков Е.К. Анализ хозяйственно ценных признаков мировой коллекции овса, выращенных в трех различных регионах Казахстана. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2013;171:168-174].
- Batalova G.A. Oats. Cultivation technology and breeding (Oves. Tekhnologiya vozdel'yvaniya i selektsiya). Kirov; 2000. [in Russian] (Баталова Г.А. Овес. Технология возделывания и селекция. Киров; 2000).
- Batalova G.A. World diversity as the basis for adaptive breeding of oats (Mirovoye raznoobraziye kak osnova adaptivnoy selektsii ovsa). In: *Plant genetic resources – the basis for food security and improving the quality of life: Abstracts of the International Scientific Conference (Geneticheskiye resursy rasteniy – osnova prodovol'stvennoy bezopasnosti i povysheniya kachestva zhizni: Tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii)*. St. Petersburg: VIR; 2014. p.107. [in Russian] (Баталова Г.А. Мировое разнообразие как основа адаптивной селекции овса. Генетические ресурсы растений – основа продовольственной безопасности и повышения качества жизни: Тезисы докладов международной научной конференции. Санкт-Петербург: ВИР; 2014. С.107).
- Batalova G.A., Lisitsyn E.M., Rusakova I.I. Biology and genetics of oats (Biologiya i genetika ovsa). Kirov: Zonal Research Institute of the North-East; 2008. [in Russian] (Баталова Г.А., Лисицын Е.М., Русакова И.И. Биология и генетика овса. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока; 2008).
- Baum B.R., Rajhathy T., Martens J.W., Thomas H. Wild oat gene pool: a collection maintained by the Canada Department of Agriculture. Ottawa: Agriculture Canada; 1975. DOI: 10.5962/bhl.title.59463
- Bityutskii N., Loskutov I., Yakkonen K., Konarev A., Shelenga T., Khoreva V. et al. Screening of *Avena sativa* cultivars for iron, zinc, manganese, protein and oil contents and fatty acid composition in whole grains. *Cereal Research Communications*. 2020;48(1):87-94. DOI: 10.1007/s42976-019-00002-2
- Bityutskii N., Yakkonen K., Loskutov I. Content of iron, zinc and manganese in grains of *Triticum aestivum*, *Secale cereale*, *Hordeum vulgare* and *Avena sativa* cultivars registered in Russia. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2017;64(8):1955-1961. DOI: 10.1007/s10722-016-0486-9
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations: [website]. Available from: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E> [accessed Dec. 09, 2022].
- Fomina M.N. Development of oat breeding in the Northern Transurals using oat genetic resources from the VIR global collection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2009;165:134-137. [in Russian] (Фомина М.Н. Развитие селекции овса в Северном Зауралье с использованием генофонда мировой коллекции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009;165:134-137).
- Ganichev B.L., Isachkova O.A. The results of work with accessions of wild oat species from the VIR collection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2009;165:194-196. [in Russian] (Ганичев Б.Л., Исачкова О.А. Результаты работы с образцами дикорастущих видов овса из коллекции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009;165:194-196).
- Gavrilova O.P., Gagkayeva T.Yu., Loskutov I.G. Evaluation of oat accessions from the VIR collection for fusarial head blight resistance. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2009;165:177-181. [in Russian] (Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., Лоскутов И.Г. Характеристика устойчивости образцов овса из коллекции ВИР к фузари-

- озу зерна. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009; 165:177-181).
- Kabashov A.D., Loskutov I.G., Vlasenko N.M., Leibovich Y.G., Markova A.S., Filonenko Z.V. et al. Oat cultivars developed at Nemchinovka and included into the State Register in recent years (a review). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(1):110-118. [in Russian] (Кабашов А.Д., Лоскутов И.Г., Власенко Н.М., Лейбович Я.Г., Маркова А.С., Филоненко З.В. и др. Сорты овса немчиновской селекции, включенные в Госреестр в последние годы (обзор). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(1):110-118). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-110-118
- Khaletsky S.P. The use of oat genetic resources in breeding in Byelorussia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2009;165:126-130. [in Russian] (Халецкий С.П. Использование генетических ресурсов в селекции овса в Беларуси. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009;165:126-130).
- Komarova G.N. The taiga zone of Western Siberia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2009;165:203-207. [in Russian] (Комарова Г.Н. Селекция овса в таежной зоне Западной Сибири. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009;165:203-207).
- Leonova S., Gnutikov A., Loskutov I., Blinova E., Gustafsson K., Olsson O. Diversity of avenanthramide content in wild and cultivated oats. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(1):30-47. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-30-47
- Linnaeus C. Species Plantarum. Vol. 2. 1st ed. Stockholm: Lawrence Salvii; 1753. DOI: 10.5962/bhl.title.669
- Loskutov I.G. Oat (*Avena* L.). Distribution, systematics, evolution, and breeding value (Oves (*Avena* L.). Распространение, систематика, эволюция и селекционная ценность. Санкт-Петербург: ВИР; 2007. [in Russian] (Лоскутов И.Г. Овес (*Avena* L.). Распространение, систематика, эволюция и селекционная ценность. Санкт-Петербург: ВИР; 2007).
- Loskutov I.G. The history of the world collection of plant genetic resources in Russia (Istoriya mirovoy kollektsii geneticheskikh resursov rasteniy v Rossii). St. Petersburg: VIR; 2009. [in Russian] (Лоскутов И.Г. История мировой коллекции генетических ресурсов растений в России. Санкт-Петербург: ВИР; 2009).
- Loskutov I.G., Blinova E.V., Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu. The valuable characteristics and resistance to *Fusarium* disease of oat genotypes. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2017;7(20-3):290-298. DOI: 10.1134/S2079059717030108
- 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 sokhraneniyyu 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., Polonskiy V.I. Content of β -glucans in oat grain as a perspective direction of breeding for health products and fodder (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(4):646-657. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.646eng
- Loskutov I.G., Rines H.W. *Avena* L. In: C. Kole (ed.). *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*. Heidelberg; Berlin: Springer; 2011. p.109-184. DOI: 10.1007/978-3-642-14228-4_3
- Loskutov I.G., Shelenga T.V., Konarev A.V., Vargach Yu.I., Porokhovinova E.A., Blinova E.V. et al. Modern approach of structuring the variety diversity of the naked and covered forms of cultural oats (*Avena sativa* L.). *Ecological Genetics*. 2020;18(1):27-41. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Шеленга Т.В., Конарев А.В., Варгач Ю.И., Пороховинова Е.А., Блинова Е.В. и др. Новый подход к структурированию сортового разнообразия голозерных и пленчатых форм культурного овса (*Avena sativa* L.). *Экологическая генетика*. 2020;18(1):27-41). DOI: 10.17816/ecogen12977
- Loskutov I.G., Shelenga T.V., Rodionov A.V., Khoreva V.I., Blinova E.V., Konarev A.V. et al. Application of metabolomic analysis in exploration of plant genetic resources. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences*. 2019;73(6):494-501. DOI: 10.2478/prolas-2019-0076
- Malzew A.I. Wild and cultivated oats. Sectio *Euavena* Griseb. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1930; Suppl 38. [in Russian] (Мальцев А. И. Овсяги и овсы. Sectio *Euavena* Griseb. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1930; Приложение 38).
- Mordvinkina A.I. New data on sandy oats (On the origin of *Avena strigosa* Schreb., *Avena brevis* Roth. and *Avena nudibrevis* Vav.) (Novye dannye o peschanykh ovsakh [K voprosu o proiskhozhdenii *Avena strigosa* Schreb., *Avena brevis* Roth. i *Avena nudibrevis* Vav.]. In: *Proceedings of the All-Union Congress on Genetics and Breeding. Vol. 3 (Trudy Vsesoyuznogo syezda po genetike i selektsii. T. 3)*. Leningrad; 1929. p.361-370. [in Russian] (Мордвинкина А.И. Новые данные о песчаных овсах (К вопросу о происхождении *Avena strigosa* Schreb., *Avena brevis* Roth. и *Avena nudibrevis* Vav.). В кн.: *Труды Всесоюзного съезда по генетике и селекции. Т. 3*. Ленинград; 1929. С.361-370).
- Mordvinkina A.I. Oats – *Avena* (Oves – *Avena*). In: *Cultivated flora of the USSR. Vol. 2. Cereals. Rye, barley, oats (Kulturnaya flora SSSR. T. 2. Khlebynye zlaki. Rozh, yachmen, oves)*. Moscow; Leningrad; 1936. p.333-438. [in Russian] (Мордвинкина А.И. Овес – *Avena*. В кн.: *Культурная флора СССР. Т. 2. Хлебные злаки. Рожь, ячмень, овес*. Москва; Ленинград; 1936. С.333-438).
- Multi-Crop Passport Descriptors. Rome: FAO/IPGRI; 2001. Available from: <http://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/biodiversity/publications/pdfs/124.pdf> [accessed Dec. 15, 2021].
- Oat Descriptors. Rome: IBPGR; 1985.
- Polonskiy V., Loskutov I., Sumina A. Biological role and health benefit of antioxidant compounds in cereals. *Biological Communication*. 2020;65(1):53-67. DOI: 10.21638/spbu03.2020.105
- Rodionova N.A., Soldatov V.N., Merezko V.E., Yarosh N.P., Kobylansky 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. Т. 2, ч. 3. Овес. Москва: Колос; 1994).
- Sinskaya E.N. On the concept of “variety” (As a matter of discussion) (O ponyatii “sort” [V poryadke obsuzhdeniya]). *Selektsiya i semenovodstvo = Breeding and Seed Production*. 1950;9:30-32. [in Russian] (Синская Е.Н. О понятии «сорт» (В порядке обсуждения). *Селекция и семеноводство*. 1950;9:30-32).
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 “Plant varieties” (official publication). Moscow: Rosinformagrotekh; 2021. [in Russian]

- (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2021).
- The International COMECON List of Descriptors for the genus *Avena* L. Leningrad: VIR; 1984.
- Trofimovskaya A.Ya., Pasyukov V.I., Rodionova N.A., Soldatov V.N. Genetic potential of the section of true oats of the genus *Avena* and its importance for breeding (Geneticheskii potentsial sektsii nastoyashchikh ovsov roda *Avena* i yego znachenie dlya selektsii). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1976;58(2):83-109. [in Russian] (Трофимовская А.Я., Пасынков В.И., Родионова Н.А., Солдатов В.Н. Генетический потенциал секции настоящих овсов рода *Avena* и его значение для селекции. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1976;58(2):83-109).
- Vasyukevich S.V., Smischuk N.G., Gordiyevskikh T.I. Efficient utilization of oat accessions in Western Siberia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2009;165:191-194. [in Russian] (Васюкевич С.В., Смищук Н.Г., Гордиевских Т.И. Эффективное использование коллекционных образцов овса в условиях Западной Сибири. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009;165:191-194).
- Vavilov N.I. Botanical and geographic fundamentals of breeding (Botaniko-geograficheskiye osnovy selektsii). In: N.I. Vavilov (ed.). *Theoretical Bases of Plant Breeding. Vol. 1, General Principles of Plant Breeding (Teoreticheskiye osnovy selektsii rasteniy. T. 1. Obshchaya selektsiya rasteniy)*. Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1935. p.15-74. [in Russian] (Вавилов Н.И. Ботанико-географические основы селекции. В кн.: *Теоретические основы селекции растений. Т. 1. Общая селекция растений* / под ред. Н.И. Вавилова. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1935. С.15-74).
- Vavilov N.I. Selected works. Vol. 5. Problems of plant origin, geography, genetics, breeding, cultivation and agronomy (Izbrannyye trudy. T. 5. Problemy proiskhozhdeniya, geografii, genetiki, selektsii rasteniy, rasteniyevodstva i agronomii). Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1965. [in Russian] (Вавилов Н.И. Избранные труды. Т. 5. Проблемы происхождения, географии, генетики, селекции растений, растениеводства и агрономии. Москва; Ленинград: АН СССР; 1965).
- Vavilov N.I. World plant resources and their use in breeding (Mirovyye rastitelnyye resursy i ikh ispolzovaniye v selektsii). In: N.I. Vavilov. *Selected works. Vol. 3 (N.I. Vavilov. Izbrannyye trudy. T. 3)*. Moscow; Leningrad: Nauka; 1962. p. 474-491. [in Russian] (Вавилов Н.И. Мировые растительные ресурсы и их использование в селекции. В кн.: *Вавилов Н.И. Избранные труды. Т. 3*. Москва; Ленинград: Наука; 1962. С.474-491).
- Vavilov N.I. World resources of cereals, grain leguminous crops and flax and their utilization in plant breeding. Wheat (Mirovyye resursy sortov khlebynykh zlakov, zernovykh bobovykh, lina i ikh ispolzovaniye v selektsii. Pshenitsa). Moscow; Leningrad: Nauka; 1964. [in Russian] (Вавилов Н.И. Мировые ресурсы сортов хлебных злаков, зерновых бобовых, льна и их использование в селекции. Пшеница. Москва; Ленинград: Наука; 1964).

Информация об авторах

Игорь Градиславович Лоскутов, доктор биологических наук, 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>

Александр Александрович Гнутиков, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, a.gnutikov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5264-5594>

Information about the authors

Igor G. Loskutov, Dr. Sci. (Biology), 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>

Alexander A. Gnutikov, Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, a.gnutikov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5264-5594>

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 23.11.2020; одобрена после рецензирования 10.02.2022; принята к публикации 02.03.2022. The article was submitted on 23.11.2020; approved after reviewing on 10.02.2022; accepted for publication on 02.03.2022.

Обзорная статья

УДК 606:57.082.26;602.6:59;602.6:612;57.086.13;57:536.483

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-239-248



Сохранение биоразнообразия растений методами биотехнологии

Н. В. Ромаданова, С. В. Кушнарченко

РГП «Институт биологии и биотехнологии растений», Алматы, Казахстан

Автор, ответственный за переписку: Наталья Владимировна Ромаданова, nata_romadanova@mail.ru

В Республике Казахстан используются несколько способов сохранения генетического материала растений: 1) полевые банки в естественных местах произрастания и помологические коллекции; 2) сохранение семян в специализированных хранилищах при температурах: +4°C, -18°C, -196°C; 3) хранение *in vitro* при +4°C, +10 ± 2°C; 4) криоконсервация растительных тканей и органов при температуре -196°C; 5) сохранение ДНК при -80°C.

Полевые коллекции растений собраны в ботанических садах, дендрариях, помологических садах, питомниках, крестьянских и фермерских хозяйствах. Наиболее крупная коллекция плодовых и ягодных растений находится в «РГКП Помологический сад» и насчитывает более 40 тыс. образцов.

Коллекция семян Республики Казахстан составляет порядка 42 000 образцов. Коллекция зерновых культур сосредоточена в основном в Казахском НИИ земледелия и растениеводства – 1/3 национального генофонда. Основная коллекция семян овощебахчевых культур и картофеля насчитывает 14 700 образцов (Казахский НИИ картофелеводства и овощеводства). Коллекции семян дикорастущих растений имеются в Институте ботаники и фитоинтродукции и в Институте биологии и биотехнологии растений (ИББР), режим хранения +4°C и -18°C. В ИББР дополнительно используется технология криоконсервации в жидком азоте при -196°C.

Основная коллекция растений в культуре *in vitro* хранится в ИББР при +4°C, +10 ± 2°C, и насчитывает более 140 образцов. Криогенная коллекция семян, апикальных меристем, зимующих почек, изолированных зародышевых осей при -196°C находится в только в ИББР, коллекция насчитывает более 700 образцов.

Ключевые слова: коллекции растений, коллекции семян, коллекции *in vitro*, криогенные коллекции

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках Научно-технической программы BR18554099.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Ромаданова Н.В., Кушнарченко С.В. Сохранение биоразнообразия растений методами биотехнологии. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023;184(1):239-248. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-239-248

SURVEYS

Review article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-239-248

Conservation of plant biodiversity by biotechnology methods

Natalya V. Romadanova, Svetlana V. Kushnarenko*Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan***Corresponding author:** Natalya V. Romadanova, nata_romadanova@mail.ru

Several methods of plant preservation are currently used in the Republic of Kazakhstan: 1) field gene banks in natural growing areas and pomological collections; 2) preservation of seeds at +4°C, –18°C, and –196°C; 3) cold storage of *in vitro* shoots at +4°C and +10 ± 2°C; 4) cryopreservation of plant tissues and organs at –196°C; 5) preservation of plant DNA at –80°C.

Ex situ field collections of plants in Kazakhstan are maintained in botanical gardens of the Republic, arboretums, pomological gardens, nurseries, peasant and farm enterprises, and personal plots. The largest collection of fruit and berry plants is located in the Pomological Garden and includes about 4 thousand varieties, more than 40 thousand hybrids and wild forms of various crops.

The Republic of Kazakhstan has about 42,000 accessions in the seed collection. The cereal crop collection is mainly concentrated in the Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing – 1/3 of the national genetic resources. The main seed collection of vegetable crops and potatoes (14,700 accessions) is held by the Kazakh Research Institute of Potato and Vegetable Growing. Collections are also available at the Institute of Botany and Phytointroduction and in the Institute of Plant Biology and Biotechnology (IPBB), with the storage mode of + 4°C and –18°C. IPBB also uses cryopreservation technology at –196°C for seed storage.

The main *in vitro* collection of Kazakhstan is kept at the IPBB at + 4°C and +10 ± 2°C; it includes more than 140 accessions of various fruit, berry, nut, vegetable, ornamental, and woody crops, grapes, potatoes, etc. A cryogenic collection of seeds, shoot tips, dormant buds, and embryonic axes in liquid nitrogen (–196°C) is found only in IPBB. The collection includes more than 700 accessions.

Keywords: plant collections, seed collections, *in vitro* collections, cryogenic collections

Acknowledgements: this research was funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (BR18554099).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Romadanova N.V., Kushnarenko S.V. Conservation of plant biodiversity by biotechnology methods. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):239-248. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-239-248

Человечество пользуется бесценными услугами природы. Биологическое разнообразие форм жизни имеет генетическое и экономическое, научное и культурное, социальное, рекреационное, а главное – экологическое значение. В последнее время уровень вымирания живых существ в 100–1000 раз превышают темпы вымирания до появления человека. Если все виды, которые в настоящее время считаются «находящиеся под угрозой исчезновения», вымрут в следующем столетии, то темпы исчезновения в будущем будут в 10 раз выше, чем сейчас (Pimm et al., 1995).

Причин сокращения видов животных и растений существует множество, и все они прямо или косвенно исходят от людей: расширение территорий населенных пунктов, превращение природных ландшафтов в сельскохозяйственные объекты, регулярные выбросы вредных веществ в атмосферу, вырубка лесов, использование химических веществ в сельском хозяйстве, загрязнение водоемов и почвы, строительство дорог и коммуникаций, рост населения планеты, требующий большего продовольствия и территорий для жизнедеятельности, браконьерство, экологические катастрофы, вызванные людьми. Список причин можно продолжать, потому как любая жизнедеятельность человека влияет на сокращение ареалов флоры и фауны. Особи, не способные выжить, умирают преждевременно, численность популяций значительно сокращается, нередко приводя к полному вымиранию вида (<https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400>).

На данный момент на территории Республики Казахстан зарегистрировано 5754 вида растений, из них в Красную книгу занесено 387 (6,7%) видов. Однако этот список далеко не полный и постоянно пополняется (Red Data Book..., 2014).

Учитывая глобальный характер проблемы, необходимо задействование научных подходов сохранения и размножения коллекций растений. В настоящее время существует несколько способов хранения генетического материала растений: 1) прежде всего это полевые генные банки в естественных местах произрастания и помологические коллекции; 2) сохранение семян в специализированных хранилищах при температурах: +4°C, –18°C; 3) хранение побегов *in vitro* при низких положительных температурах; 4) криоконсервация растительных тканей и органов при температуре –196°C (Reed, 2002).

Полевые генные банки в естественных местах произрастания относятся к традиционным методам сохранения генетических ресурсов *in situ*: заповедники, заказники, национальные парки, памятники природы, резерваты. К традиционным способам сохранения генетических ресурсов относится и сохранение генетического и видового разнообразия вне естественных мест обитания *ex situ*: ботанические сады, дендрарии, помологические сады, питомники, коллекционные участки, фермерские хозяйства, приусадебные участки.

В мире существует большое количество полевых генных банков, имеющих важное стратегическое значение: например, в Институте помологии г. Чангши (Китай) создана коллекция гермоплазмы плодовых деревьев, которая включает 1092 образца. В США существует Национальная система гермоплазмы растений, которая предназначена для свободного и неограниченного обмена растительным материалом со всеми странами и разрешает допуск к коллекциям США любым законным пользователям. Ежегодно высылаются свыше 150 тыс. образцов пользователям в США и более чем в 100 стран мира.

Создание такой системы позволяет надежно сохранять мировое биоразнообразие растений (Coelho et al., 2020).

В Казахстане такая полевая коллекция плодовых, ягодных культур и винограда собрана в «РГКП Помологический сад». Коллекция генофонда была интродуцирована из различных регионов земного шара, насчитывает около 4 тыс. сортов, более 40 тыс. образцов-гибридов (<http://fvri.kz>). Кроме того, имеется коллекция дикорастущих форм плодовых растений, собранная в горах Заилийского Алатау. Однако, при большой значимости, сохранение генофонда в естественной среде обитания, а также в помологических и ботанических садах, имеет ряд недостатков: 1) коллекции содержат только лишь незначительную часть образцов того или иного вида; 2) существует риск самоопыления в популяциях и гибридизации с родственными видами, что может привести к генной эрозии или даже к утере специфичности генотипа; 3) требуются значительные материальные затраты на содержание больших площадей земли; 4) коллекции в естественной среде обитания могут погибнуть от заражения опасными болезнями и вредителями, от воздействий неблагоприятных факторов (Rakhimbaev et al., 2003).

Поэтому на современном этапе сохранение генетических ресурсов необходимо проводить с учетом применения инновационных методов, в том числе и долгосрочное консервирование генетического материала в криобанках. В США создана Национальная система сохранения гермоплазмы растений. В большинстве стран Европы, в Китае, Японии, Корее, Перу и во многих других наряду с обширными полевыми коллекциями имеются также и криогенные банки различных органов растений. На данном этапе существует несколько видов банков генов: 1) семенной банк; 2) банк ДНК; 3) банк клеточных культур (Popov et al., 2006; Lynch et al., 2007; Keller et al., 2008; Kim et al., 2012; Coelho et al., 2020).

Создание банка семян – это важная задача для всего мирового сообщества на данный момент. Во всем мире насчитывается около 1750 генетических банков семян, в которых сохраняется порядка 10 000 образцов. Самое большое Всемирное хранилище семян находится на острове Шпицберген (Норвегия). В хранилище помещены для безопасного хранения образцы семян основных сельскохозяйственных культур. Коллекция постоянно пополняется семенами из различных уголков земного шара, в 2020 г. она насчитывала 900 000 образцов семян (<https://www.croptrust.org/our-work/svalbard-global-seed-vault>). Самое большое хранилище семян стран СНГ находится в России, на территории которой расположено несколько криогенных банков. Самый крупный – Генетический банк семян Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) (Санкт-Петербург), коллекции также расположены в Кубанском генетическом банке и на опытных станциях – филиалах ВИР. Это одна из самых крупных в мире и богатых по видовому представительству коллекция мирового генетического разнообразия растений, которая насчитывает около 400 000 образцов. Большая часть этой коллекции хранится в контролируемых условиях (+4,5°C).

Коллекция семян Республики Казахстан насчитывает порядка 42 000 образцов (The second report..., 2010). Основная коллекция семян зерновых культур Казахстана находится в Казахском НИИ земледелия и растениеводства, где имеется среднесрочное генетическое хранилище, включающее 17 056 образцов 29 сельскохозяйствен-

ных культур: это 1/3 национального генофонда Республики Казахстан (<https://foodindustry.kz/kazahskij-nii-zemledeliya-i-gastenievodstva>). Коллекция семян овоще-бахчевых культур и картофеля, состоящая из 14 700 образцов, сохраняется в Казахском НИИ картофелеводства и овощеводства (<https://foodindustry.kz/kazahskij-nii-kartofelevodstva-i-ovoshhevodstva>). В РГП «Институт ботаники и фитоинтродукции» КН МОН РК сосредоточены долгосрочная (базовая) с режимом хранения -18°C и краткосрочная (активная) коллекции семян дикорастущих видов, режим хранения $+4^{\circ}\text{C}$ (https://botsad.kz/ru/labs/view/laboratoriya_semenovodstva). Семенные коллекции находятся и в других научных учреждениях Казахстана. Одной из более весомых считается коллекция лаборатории криосохранения гермоплазмы РГП «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МОН РК (ИББР), в которой, кроме хранения при $+4^{\circ}\text{C}$ и -18°C (рис. 1), используется и технология криоконсервации растений при -196°C (Romadanova et al., 2019). Коллекция некоторых растений лаборатории криосохранения гермоплазмы ИББР, сохраняемая при разных температурных режимах, представлена в таблице.

Создание банков ДНК – это новое направление в современной науке. ДНК, как правило, выделяют из ли-

стьев растений и сохраняют при температуре -80°C и при -196°C в жидком азоте. Самые большие коллекции ДНК находятся в США, Китае, Индии, России, Японии и в странах Европы. Коллекции ДНК являются важным ресурсом в рамках глобальных усилий по преодолению кризиса в сфере биоразнообразия, управления генетическими ресурсами в мире и максимального увеличения их потенциала (De Vicente, Andersson, 2006).

Банк клеточных культур представлен в основном коллекциями *in vitro*, которые сохраняются при низких положительных температурах и криогенными коллекциями апикальных меристем, почек, пыльцы, сохраняемыми при -196°C . В Казахстане основная коллекция *in vitro* различных дикорастущих форм, сортов, клоновых подвоев, гибридов плодовых, ягодных, орехоплодных, декоративных и других культур хранится в ИББР при $+4^{\circ}\text{C}$ и при $+10 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (см. таблицу, рис. 2, 3, 4).

In vitro коллекция ИББР насчитывает более 140 образцов различных плодовых, ягодных, орехоплодных, овощных, зерновых, декоративных, древесных культур, винограда, картофеля и т. д., некоторые образцы коллекции представлены в таблице. В меньших объемах, такие коллекции есть в РГП «Национальный центр биотехнологии» КН МОН РК (<https://www.biocenter.kz/#>), в ТОО



Рис. 1. Коллекция семян лаборатории криосохранения гермоплазмы РГП «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МОН РК:

1 – температурный режим хранения $+4^{\circ}\text{C}$; 2 – температурный режим хранения -20°C

Fig. 1. The seed collection at the Germplasm Cryopreservation Laboratory of the Institute of Plant Biology and Biotechnology:

1 – storage temperature $+4^{\circ}\text{C}$; 2 – storage temperature -20°C

Таблица. Коллекция растений лаборатории криосохранения гермоплазмы ИББР, сохраненная при разных температурных режимах**Table.** The plant collection of the IPBB Germplasm Cryopreservation Laboratory preserved under different temperature conditions

Наименование образца / Name of the accession	Коллекция семян и зародышевых осей. Количество образцов, шт. / Collection of seeds and embryonic axes. Number of accessions, pcs			Коллекция клеточных культур. Количество образцов, шт. / Collection of cell cultures. Number of accessions, pcs.			
	Температурный режим хранения / Storage temperature						
	4°C	-19 ± 1°C	-196°C	24 ± 1°C	4°C	10 ± 2°C	-196°C
<i>Berberis amurensis</i> Rupr.	–	–	1	–	1	–	–
<i>Berberis heteropoda</i> Schrenk	18	15	26	9	9	–	--
<i>Berberis iliensis</i> M. Pop.	3	11	7	3	3	–	–
<i>Berberis integerrima</i> Bunge	5	17	27	10	10	–	–
<i>Berberis oblonga</i> (Regel) C.K.Schneid.	–	–	–	2	2	–	1
<i>Berberis sibirica</i> Pall.	–	–	1	–	1	–	–
<i>Corylus avellana</i> L.	–	–	–	14	–	–	–
<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i> (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier	–	–	–	3	–	–	11
<i>Juglans regia</i> L.	–	-	73	11	–	–	–
<i>Lonicera altaica</i> Pall.	1	1	–	3	3	–	3
<i>Lonicera iliensis</i> Pojark.	3	3	–	2	2	–	2
<i>Lonicera stenantha</i> Pojark.	–	1	–	–	–	–	–
<i>Lonicera tatarica</i> L.	3	6	–	–	–	–	–
<i>Malus domestica</i> Borkh.	–	–	–	31	25	–	60
<i>Malus niedzwetzkyana</i> Dieck ex Koehne	–	–	–	1	1	–	–
<i>Malus sieversii</i> (Ledeb.) M. Roem	–	88	88	14	14	–	37
<i>Oryza sativa</i> L.	80	–	80	–	–	–	–
<i>Prunus armeniaca</i> L.	1	–	–		1	–	1
<i>Pyrus communis</i> var. <i>pyraster</i> L.	–	–	–	8	17	–	17
<i>Pyrus pyraster</i> (L.) Burgsd.	2	–	2	2	2	–	–
<i>Pyrus regelii</i> Rehder	2	–	2	–	–	–	–
<i>Ribes nigrum</i> L	–	–	–	–	–	–	23
<i>Rubus idaeus</i> L.	–	–	–	12	12	–	26
<i>Solanum tuberosum</i> L	–	–	–	13	–	10	13

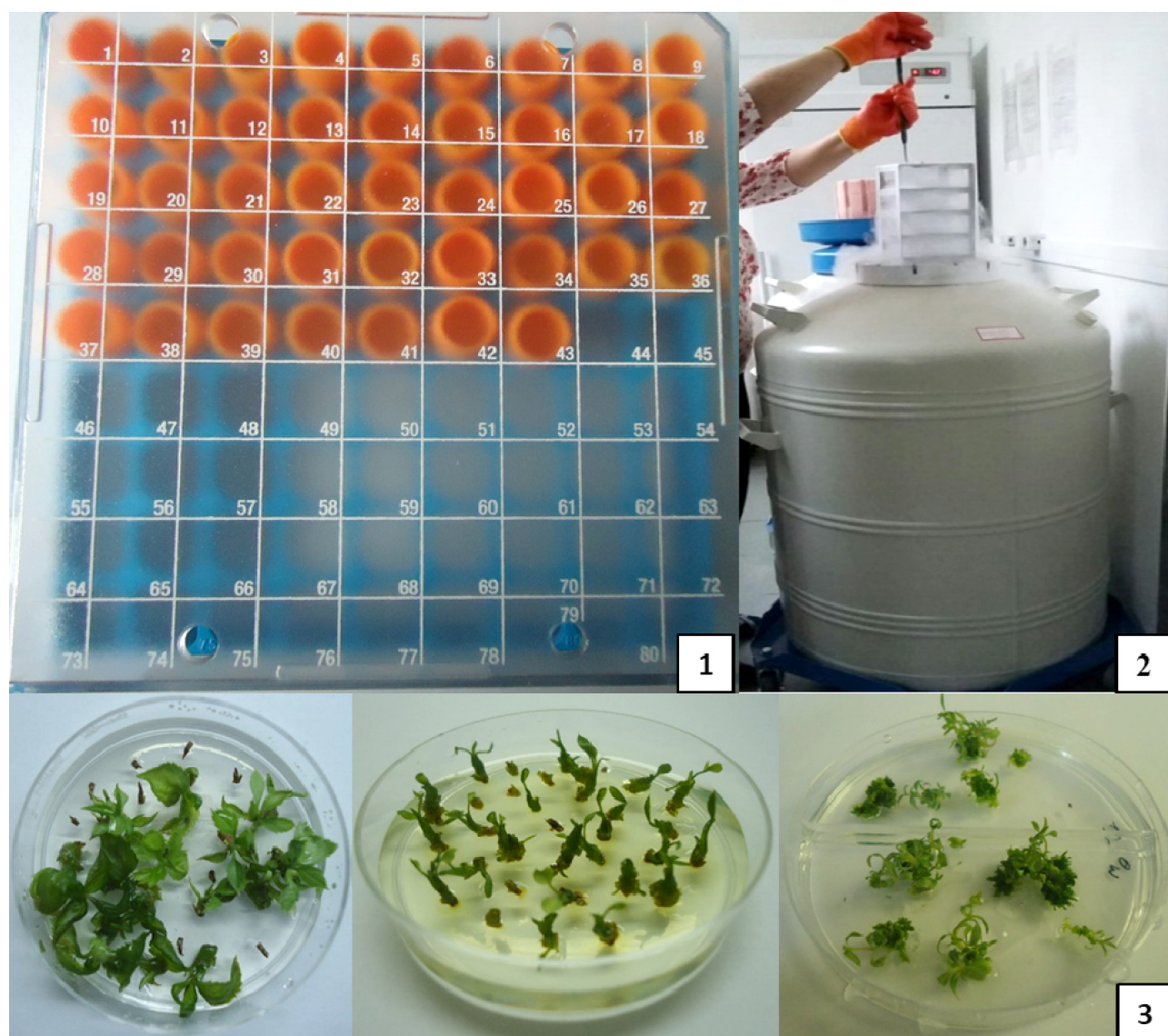


Рис. 2. Коллекция семян и апикальных меристем лаборатории криосохранения гермоплазмы РГП «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МОН РК. Температурный режим хранения -196°C :

1 – криопробирки в криобоксе, 2 – погружение криопробирок с растительным материалом в сосуд с жидким азотом, 3 – регенерация меристем после криоконсервации методом витрификации (слева на право: *Malus domestica* Borkh. сорт 'Восход', *Berberis integerrima* Bunge форма 14, *Lonicera altaica* Pall. сорт 'Галочка')

Fig. 2. The collection of seeds and shoot tips at the Germplasm Cryopreservation Laboratory of the Institute of Plant Biology and Biotechnology. Storage temperature -196°C :

1 – cryotubes in a cryobox, 2 – immersion of cryotubes with plant material in a vessel with liquid nitrogen, 3 – regeneration of shoot tips after cryopreservation by vitrification (from left to right: *Malus domestica* Borkh. cultivar 'Voskhod', *Berberis integerrima* Bunge form 14, *Lonicera altaica* Pall. cultivar 'Galochka')



Рис. 3. Коллекция *in vitro* лаборатории криосохранения гермоплазмы РГП «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МОН РК:

1 – *Berberis integerrima* Bunge, 2 – *Corylus avellana* (L.) H. Karst, 3 – *Juglans regia* L., 4 – *Lonicera altaica* Pall., 5 – *Malus domestica* Borkh., 6 – *Populus heterophylla* L., 7 – *Populus pruinosa* Schrenk, 8 – *Pyrus communis* L., 9 – *Rubus caesius* L., 10 – *Solanum tuberosum* L., 11 – *Syringa chinensis* Willd., 12 – *Vitis vinifera* L.

Fig. 3. The *in vitro* collection at the Germplasm Cryopreservation Laboratory of the Institute of Plant Biology and Biotechnology:

1 – *Berberis integerrima* Bunge, 2 – *Corylus avellana* (L.) H. Karst, 3 – *Juglans regia* L., 4 – *Lonicera altaica* Pall., 5 – *Malus domestica* Borkh., 6 – *Populus heterophylla* L., 7 – *Populus pruinosa* Schrenk, 8 – *Pyrus communis* L., 9 – *Rubus caesius* L., 10 – *Solanum tuberosum* L., 11 – *Syringa chinensis* Willd., 12 – *Vitis vinifera* L.



Рис. 4. Коллекция *in vitro* (среднесрочное хранение) лаборатории криосохранения гермоплазмы ГГП «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МОН РК:

1 – режим хранения 4°C, 2 – режим хранения 8–12°C

Fig. 4. The *in vitro* collection (medium-term storage) at the Germplasm Cryopreservation Laboratory of the Institute of Plant Biology and Biotechnology:

1 – storage mode 4°C, 2 – storage mode 8–12°C

«Казахский научно-исследовательский институт плодощеводства» (Kabybekova et al., 2020; Nurtaza et al., 2021) и в других. Криогенная коллекция семян, апикальных меристем, почек, изолированных зародышевых осей, ДНК в жидком азоте (–196°C) находится только в ИББР, коллекция насчитывает более 700 образцов (см. таблицу, рис. 3) (Romadanova et al., 2016a; Romadanova et al., 2017). Следует отметить, что в вышеупомянутой коллекции сохранены уникальные образцы эндемичных, реликтовых, редких, исчезающих, занесенных в Красную книгу растений, таких как *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem., *Malus niedzwetzkyana* Dieck ex Koehne, *Berberis iliensis* Popov, *Lonicera iliensis* Pojark., *Corylus avellana* (L.) H. Karst., *Pyrus heterophylla* Regel & Schmalh. и другие (Kovalchuk et al., 2014a; Kovalchuk et al., 2014b; Romadanova et al., 2016a; Romadanova et al., 2017; Kushnarenko et al., 2020). Кроме того, в ИББР проводится работа по оздоровлению *in vitro* коллекции от вирусов методами химио-, крио- и термотерапии. На данный момент создана безвирусная *in vitro* коллекция яблони и картофеля, работа продолжается (Romadanova et al., 2016a; Kushnarenko et al., 2017; Romadanova et al., 2021b). Коллекция *in vitro* используется для научных целей, для создания криогенного банка и для получения саженцев. Кроме того, в лаборатории проводится изучение компонентного состава и активности эфирных масел растений (Schepetkin et al., 2015; Kushnarenko et al., 2016; Utegenova et al., 2018; Romadanova et al., 2021a).

Несмотря на значительный прогресс в области сохранения генетических ресурсов в мире, в одних странах до сих пор не созданы хранилища судного дня, в других эта работа активно ведется, но ученые испытывают трудности с финансированием, не имеют условий для проведения необходимой работы. В результате многие ценные коллекции находятся в опасности. Кроме финансовой поддержки государства для облегчения доступа к информации, необходимо на международном уровне создать

рациональную глобальную базу, в которой будут задокументированы все мировые коллекции хранения генетических материалов *ex situ*. Необходимо повысить информативность на государственном уровне о существующей проблеме.

References / Литература

- Code of the Republic of Kazakhstan dated January 2, 2021: [website]. Available from: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> [accessed May 18, 2022].
- Coelho N., Gonçalves S., Romano A. Endemic plant species conservation: Biotechnological approaches. *Plants*. 2020;9(3):345. DOI: 10.3390/plants9030345
- De Vicente M.C., Andersson M.S. (eds). DNA banks – providing novel options for genebanks? Rome: IPGRI; 2006. Available from: https://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/file/learning_space/dna_banks.pdf [accessed Apr. 05, 2022].
- Kabybekova B., Kovalchuk I., Mukhitdinova Z., Turdiyev T., Kairova G., Madiyeva G. et al. Reduced major minerals and increased minor nutrients improve micropropagation in three apple cultivars. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2020;56(3):335-349. DOI: 10.1007/s11627-019-10019-1
- Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant growing: [website]. [in Russian] (Казахский НИИ земледелия и растениеводства: [сайт]). URL: <https://foodindustry.kz/kazahskij-nii-zemledeliya-i-rastenievodstva/> [дата обращения: 23.06.2022].
- Kazakh Research Institute of Potato and Vegetable Growing: [website]. [in Russian] (Казахский НИИ картофелеводства и овощеводства: [сайт]). URL: <https://foodindustry.kz/kazahskij-nii-kartofelevodstva-i-ovoshhevodstva/> [дата обращения: 30.06.2022].
- Keller E.R.J., Kaczmarczyk A., Senu A. Cryopreservation for plant genebanks – a matter between high expectations and cautious reservation. *CryoLetters*. 2008;29(1):53-62.

- Kim H.H., Popova E., Shin D.J., Yi J.Y., Kim C.H., Yoon M.K. et al. Cryobanking of Korean allium germplasm collections: results from a 10 year experience. *CryoLetters*. 2012;33(1):45-57.
- Kovalchuk I., Turdiev T., Mukhitdinova Z., Frolov S., Reed B.M. Cryopreservation of native Kazakhstan apricot (*Prunus armeniaca* L.) seeds and embryonic axes. *CryoLetters*. 2014a;35(2):83-89.
- Kovalchuk I., Zhumagulova Z., Turdiev T., Reed B.M. Growth medium alterations improve *in vitro* cold storage of pear germplasm. *CryoLetters*. 2014b;35(3):197-203.
- Kushnarenko S., Romadanova N., Aralbayeva M., Zholtanova S., Alexandrova A., Karpova O. Combined ribavirin treatment and cryotherapy for efficient *Potato virus M* and *Potato virus S* eradication in potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro* shoots. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2017;53(4):425-432. DOI: 10.1007/s11627-017-9839-0
- Kushnarenko S.V., Karasholakova N., Ozek G., Abidkulova K.T., Mukhitdinov N.M., Baser K.H.C. et al. Investigation of essential oils from three natural populations of *Lonicera iliensis*. *Chemistry of Natural Compounds*. 2016;52(4):751-753. DOI: 10.1007/s10600-016-1765-6
- Kushnarenko S.V., Romadanova N.V., Aralbayeva M.M. Current state and *in vitro* conservation of the only endangered population of *Corylus avellana* in Kazakhstan. *Research on Crops*. 2020;21(4):681-686. DOI: 10.31830/2348-7542.2020.106
- LLP Kazakh Research Institute of Horticulture: [website]. [in Russian] (ТОО «Казахский научно-исследовательский институт плодовоовощеводства»: [сайт]). URL: <http://fvri.kz> [дата обращения: 30.06.2022].
- Lynch P.T., Benson E.E., Keith H. Climate change: the role of *ex situ* and cryo-conservation in the future security of economically important, vegetatively propagated plants. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2007;82(2):157-160. DOI: 10.1080/14620316.2007.11512213
- National Center for Biotechnology: [website]. Available from: <https://www.biocenter.kz/#> [accessed July 11, 2022].
- Nurtaza A., Magzumova G., Yessimseitova A., Karimova V., Shevtsov A., Silayev D. et al. Micropropagation of the endangered species *Malus niedzwetzkyana* for conservation biodiversity in Kazakhstan. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2021;57(6):965-976. DOI: 10.1007/s11627-021-10174-4
- Pimm S.L., Russell G.J., Gittleman J.L., Brooks T.M. The future of biodiversity. *Science*. 1995;269(5222):347-350. DOI: 10.1126/science.269.5222.347
- Popov A.S., Popova E.V., Nikishina T.V., Vysotskaya O.N. Cryobank of plant genetic resources in Russian Academy of Sciences. *International Journal of Refrigeration*. 2006;29(3):403-410. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2005.07.011
- Rakhimbaev I.R., Kovalchuk I.Yu., Kushnarenko S.V. Biotechnology of fruit plants germplasm cryopreservation. In: *Conservation and sustainable use of plant resources: Proceedings of the International Symposium; August 26–29, 2003; Bishkek*. Bishkek; 2003. p.234-238. [in Russian] (Рахимбаев И.Р., Ковальчук И.Ю., Кушнаренко С.В. Биотехнология криосохранения гермоплазмы плодовых растений. В кн.: *Сохранение и устойчивое использование растительных ресурсов: Материалы международного симпозиума; 26–29 августа 2003 г.; Бишкек*. Бишкек; 2003. С.234-238).
- Red Data Book of Kazakhstan. Vol. 2. Plants. 2nd ed. Astana: ArtPrintXXI; 2014. [in Russian] (Красная книга Казахстана. Т. 2. Растения. 2-е изд. Астана: АртPrintXXI; 2014).
- Reed B.M. The basics of *in vitro* storage and cryopreservation. In: *USDA-ARS National Clonal Germplasm Repository*. Corvallis, OR; 2002. p.34-46.
- Romadanova N., Karasholakova L., Eshbakova K., Özek G., Özek T., Yur S., et al. Phytochemical analysis and antioxidant activity of *Berberis iliensis* M. Pop and *Berberis integerrima* Bunge fruits pulp. *Research on Crops*. 2021a;22(4):940-947. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.154
- Romadanova N., Kushnarenko S., Karasholakova L. Development of a common PVS2 vitrification method for cryopreservation of several fruit. *In Vitro Cellular and Developmental Biology*. 2017;53(4):382-393. DOI: 10.1007/s11627-017-9849-y
- Romadanova N., Tolegen A., Koken T., Nurmanov M., Kushnarenko S. Chemotherapy of *in vitro* apple shoots as a method of viruses eradication. *International Journal of Biology and Chemistry*. 2021b;14(1):48-55. DOI: 10.26577/ijbch.2021.v14.i1.04
- Romadanova N.V., Karasholakova L.N., Makhmutova I.A., Ishmuratova M.Yu., Kopytkova L.A., Kabulova F.D., Kushnarenko S.V. Preservation of barberry (some species) genetic material in a cryobank. *Bulletin of Karaganda University. Series "Biology. Medicine. Geography"*. 2019;3(95):20-26. [in Russian] (Ромаданова Н.В., Карашолакова Л.Н., Махмуртова И.А., Ишмуратова М.Ю., Копыткова Л.А., Кабулова Ф.Д., Кушнаренко С.В. Сохранение генетического материала некоторых видов барбариса в криобанке. *Вестник Карагандинского университета. Серия «Биология. Медицина. География»*. 2019;3(95):20-26). URL: <http://rep.ksu.kz/handle/data/8452> [дата обращения: 09.06.2022].
- Romadanova N.V., Mishustina S.A., Gritsenko D.A., Omashova M.Y., Galiakparov N.N., Reed B.M. et al. Cryotherapy as a method for reducing the virus infection of apples (*Malus* sp.). *CryoLetters*. 2016a;37(1):1-9.
- Romadanova N.V., Mishustina S.A., Matakova G.N., Kuhsnarenko S.V., Rakhimbaev I.R., Reed B.M. *In vitro* collection of *Malus* shoot cultures for cryogenic bank development in Kazakhstan. *Acta Horticulturae*. 2016b;1113:271-277. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1113.40
- Schepetkin I.A., Kushnarenko S.V., Özek G., Kirpotina L.N., Utegenova G.A., Kotukhov Yu.A. et al. Inhibition of human neutrophil responses by essential oil of *Artemisia kotuchovii* and its constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015;63(20):4999-5007. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b01307
- Svalbard Global Seed Vault – Crop Trust: [website]. Available from: <https://www.croptrust.org/our-work/svalbard-global-seed-vault/> [accessed May 24, 2022].
- The Main Botanical Garden: [website]. Available from: https://botsad.kz/ru/labs/view/laboratoriya_semenovodstva [accessed May 18, 2022].
- The second report on the state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Chapter 3. The state of *ex situ* conservation. Rome: FAO; 2010. [in Russian] (Второй доклад о состоянии мировых генетических ресурсов растений для продовольствия и сельского хозяйства. Глава 3. Положения дел в области сохранения *ex situ*. Рим: ФАО; 2010). URL: <http://www.fao.org/3/i1500r/i1500r03.pdf> [дата обращения: 23.06.2022].
- Utegenova G.A., Pallister K.B., Kushnarenko S.V., Ozek G., Ozek T., Abidkulova K.T. et al. Chemical composition and antibacterial activity of essential oils from *Ferula* L. species against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Molecules*. 2018;23(7):1679-1696. DOI: 10.3390/molecules23071679

Информация об авторах

Наталья Владимировна Ромаданова, кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, ведущий научный сотрудник, РГП «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МОН РК, 050040 Республика Казахстан, Алматы, ул. Тимирязева, 45, nata_romadanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1052-2753>

Светлана Вениаминовна Кушнарченко, кандидат биологических наук, профессор, заведующая лабораторией, РГП «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МОН РК, 050040 Республика Казахстан, Алматы, ул. Тимирязева, 45, svetlana_bio@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1926-0091>

Information about the authors

Natalya V. Romadanova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Leading Researcher, Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty 050040, Kazakhstan, nata_romadanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1052-2753>

Svetlana V. Kushnarenko, Cand. Sci. (Biology), Professor, Head of a Laboratory, Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty 050040, Kazakhstan, svetlana_bio@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1926-0091>

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 26.05.2022; одобрена после рецензирования 26.07.2022; принята к публикации 02.03.2023.
The article was submitted on 26.05.2022; approved after reviewing on 26.07.2022; accepted for publication on 02.03.2023.

ИСТОРИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВИР. СЛАВНЫЕ ИМЕНА

Краткое сообщение

УДК 581.19:577.2:631.52(092)

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-249-254



Конарев Алексей Васильевич (к 75-летию со дня рождения)

Т. В. Шеленга, Ю. А. Керв, И. Н. Перчук, В. С. Попов, А. Е. Соловьева, В. И. Хорева, Е. К. Хлесткина

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

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

16 января 2023 г. исполнилось 75 лет со дня рождения доктора биологических наук, профессора Алексея Васильевича Конарева, известного ученого в области биохимии и молекулярной биологии, старейшего сотрудника ВИР.

Ключевые слова: ВИР, Конарев А.В., биохимия, молекулярная биология

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Шеленга Т.В., Керв Ю.А., Перчук И.Н., Попов В.С. Соловьева А.Е., Хорева В.И., Хлесткина Е.К. Конарев Алексей Васильевич (к 75-летию со дня рождения). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):249-254. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-249-254

HISTORY OF AGROBIOLOGICAL RESEARCH AND VIR. NAMES OF RENOWN

Brief report

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-249-254

Prof. Alexey V. Konarev (celebrating the 75th birthday)

Tatyana V. Shelenga, Yulia A. Kerv, Irina N. Perchuk, Vitaly S. Popov,
Alla E. Solovyeva, Valentina I. Khoreva, Elena K. Khlestkina

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

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

On January 16, 2023 we celebrated the 75th birthday of Professor Alexey V. Konarev, Doctor of Biological Sciences, a renowned scientist in the sphere of plant biochemistry and molecular biology, one of the eldest staff members of VIR.

Keywords: VIR, Alexey Konarev, biochemistry, molecular biology

Acknowledgments: the authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Shelenga T.V., Kerv Yu.A., Perchuk I.N., Popov V.S. Solovyeva A.E., Khoreva V.I., Khlestkina E.K. Prof. Alexey V. Konarev (celebrating the 75th birthday). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):249-254. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-249-254

© Шеленга Т.В., Керв Ю.А., Перчук И.Н., Попов В.С. Соловьева А.Е., Хорева В.И., Хлесткина Е.К., 2023

16 января 2023 года исполнилось 75 лет Алексею Васильевичу Конареву – российскому ученому, доктору биологических наук, потомственному вировцу (рис. 1). Алексей Васильевич родился в семье известного ученого-генетика, профессора, академика ВАСХНИЛ Василия Григорьевича Конарева, многие годы возглавлявшего



Рис. 1. А. В. Конарев (2013)

Fig. 1. A. V. Konarev (2013)

его отдела молекулярной биологии ВИР. Научная работа А. В. Конарева является достойным продолжением дела его отца, академика В. Г. Конарева, разработавшего принципы и методы сортовой идентификации и регистрации генофонда сортов культурных растений, а также их диких родичей для решения фундаментальных и практических задач прикладной ботаники, генетики и селекции.

Во Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова А. В. Конарев пришел в 1973 году, с отличием окончив Ленинградский государственный университет (1971). Основные вехи научного пути А. В. Конарева тесно связаны с ВИР: кандидат биологических наук (1975), доктор биологических наук (1988), заместитель директора по научной работе (1991–1998), профессор (1993), руководитель отдела биохимии и молекулярной биологии с 1988 г. по настоящее время (рис. 2). За время руководства отделом при личном участии и под руководством профессора А. В. Конарева были проведены многочисленные исследования фундаментального и прикладного характера.

Приоритетные научные направления деятельности А. В. Конарева: биохимическое и молекулярно-генетическое изучение белков семян злаков в связи с решением

актуальных проблем генетических ресурсов растений (ГРР), растениеводства и селекции; проблемы качества продукции растениеводства; фундаментальные и прикладные аспекты разработки методов идентификации (маркирования) генетических и биологических систем (сортов, гибридов, линий, биотипов и др.) с использованием белковых маркеров; проблемы генетической целостности (подлинности) исходного и селекционного материала; адаптивность молекулярного, биохимического, популяционного полиморфизма – значение и использование в селекции, семеноводстве и семенном контроле. Разнообразие научных интересов А. В. Конарева наглядно отражено в списке его трудов.

А. В. Конарев является автором оригинальных работ о происхождении первого генома мягкой и твердой пшениц от диплоидной пшеницы Урарту (Konarev et al., 1974). На этом основании в ВИР была создана оригинальная дифилетическая система рода *Triticum* L. Изучение альбуминов – ингибиторов α -амилаз из зерна пшениц и родственных злаков (Konarev, 1978a; Konarev, 1978b; Konarev, Gavriluk, 1978) позволило выявить фактор (альбумин), позволяющий различать муку мягкой и твердой пшениц. Работы А. В. Конарева имеют большое значения для селекции, в том числе путем отдаленной гибридизации. Алексей Конарев – соавтор первого тома «Молекулярно-биологические аспекты прикладной ботаники генетики и селекции» задуманной по примеру академика Н. И. Вавилова серии под общим названием «Теоретические основы селекции» (Konarev et al., 1993). В 1996 г. под его руководством и редакцией данный том был издан на английском языке (Konarev et al., 1996).

В 1983–1987 гг. А. В. Конаревым и его учениками впервые показана гомология генов запасных белков семян пшеницевых и мятликовых. Охарактеризована новая группа проламинов ряда триб семейства злаковых. Доказано, что эти проламины пригодны для идентификации и регистрации ГР кормовых злаковых трав. В 1986–1991 гг. разработан метод идентификации сор-



Рис. 2. Отдел биохимии и молекулярной биологии ВИР (2003)

Fig. 2. VIR Department of Biochemistry and Molecular Biology (2003)

тов и дикорастущих популяций практически важных видов злаковых трав – ежи, овсяницы и плевела. Изданы методические указания (Konarev et al., 1988; Gavriluk et al., 1989).

Многолетнее руководство работой отдела позволило создать уникальную творческую атмосферу, что даже в тяжелые для науки 90-е годы прошлого века помогло сохранить основной «костяк» коллектива и продолжить научную деятельность.

Начиная с 2001 г. А. В. Конарев руководит испытательной лабораторией «Определение сортовой принадлежности и сортовой чистоты методом электрофореза белков», основой которой стали аспиранты и сотрудники, много лет проработавшие с академиком В. Г. Конаревым. Под руководством А. В. Конарева стандартный лабораторный метод определения сортовой принадлежности и чистоты в 2002–2018 гг. внедрялся в систему Россельхознадзора РФ. При непосредственном участии А. В. Конарева подготовлены десятки специалистов по сортовой идентификации с помощью электрофореза запасных белков; они успешно реализуют полученные навыки в научных и коммерческих структурах РФ.

В своих работах и научных докладах А. В. Конарев всегда уделял особое внимание проблемам обеспечения качества и безопасности питания, пищевых продуктов (рис. 3, 4). С 2005 по 2011 г. А. В. Конарев входил в состав Комиссии по безопасности питания при Правительстве Санкт-Петербурга. Для представителей Законодательного собрания Санкт-Петербурга профессором Конаревым в 2011 г. был сделан доклад о природе генетически модифицированных организмов (ГМО).

Аспиранты, подготовленные профессором А. В. Конаревым, стали высококлассными успешными профессионалами и продолжают научную деятельность не только в России, но и практически по всему миру: в США, Канаде, Швеции. Среди них: М. О. Введенская, В. М. Чмелев, С. В. Леонова, М. А. Жукова и другие. Под его руководством защищено 17 кандидатских диссертаций.

За десятки лет плодотворной научно-исследовательской деятельности профессором Алексеем Васильевичем Конаревым опубликовано около 200 научных работ в отечественных и зарубежных изданиях, в том числе

в высокорейтинговых научных журналах. Приводим некоторые статьи за период с 2016 по 2022 г. (Grigorev et al., 2022; Loskutov et al., 2022; Popov et al., 2022; Porokhovina et al., 2022; Shelenga et al., 2021; Shvachko et al., 2021; Solovyeva et al., 2021; Bityutskii et al., 2020; Gavrilova et al., 2020; Loskutov et al., 2020; Shelenga et al., 2020; Sidorova et al., 2020; Konarev et al., 2019; Loskutov et al., 2019; Sidorova et al., 2018; Loskutov et al., 2017; Perchuk et al., 2016). А. В. Конарев – участник многих отечественных и международных конгрессов, симпозиумов и совещаний. Многие годы является членом редакционной коллегии журнала «Аграрная Россия».

Безусловно, самое главное – это научная школа, созданная академиком Василием Григорьевичем Конаревым, ставшая одним из приоритетных научных направлений работы ВИР и продолженная в последующие годы профессором Алексеем Васильевичем Конаревым. Результаты их исследований получили высокую оценку мирового научного сообщества и являются гордостью российской науки.

Огромный вклад А. В. Конарева в сохранение истории ВИР. В связи со 100-летним юбилеем института им был сделан анализ процессов становления ВИР, а также концепций и идей, послуживших основой для развития института, сформулированы основные достижения ВИР, включая филиальную (опытную) сеть, в фундаментальных и прикладных областях биологической и сельскохозяйственной науки (Konarev, 1994a; Konarev, 1994b). И сегодня актуальны слова Алексея Конарева: «Обратимся с благодарностью к нашим предшественникам, оставившим нам в наследство этот ВИР. Они смогли сберечь его и не в такие времена. И для большинства вировцев сохранить свое дело – значит не потерять смысл жизни» (Konarev, 1994a).

Коллектив ВИР с огромной теплотой и глубочайшим уважением поздравляет Алексея Васильевича с юбилеем! Коллектив желает юбиляру здоровья, творческого вдохновения и долгих лет активной жизни, а возглавляемой им научной школе – прирастать талантливой молодежью и всесторонне развиваться, раскрывая богатейший потенциал мировой коллекции генетических ресурсов растений!



Рис. 3. Алексей Конарев с братом, д-ром биол. наук Александром Конаревым (2007)

Fig. 3. Alexey Konarev with his brother, Dr. Alexander Konarev (2007)



Рис. 4. Выступление Алексея Конарева, посвященное 40-летию отдела молекулярной биологии ВИР (2007)

Fig. 4. Alexey Konarev dedicates his speech to the 40th anniversary of the Molecular Biology Department of VIR (2007)

References / Литература

- Bitvutskii N., Loskutov I., Yakkonen K., Konarev A., Shelenga T., Khoreva V. et al. Screening of *Avena sativa* cultivars for iron, zinc, manganese, protein and oil contents and fatty acid composition in whole grains. *Cereal Research Communications*. 2020;48(1):87-94. DOI: 10.1007/s42976-019-00002-2
- Gavrilova V., Shelenga T., Porokhovina E., Dubovskaya A., Kon'kova N., Grigoryev S., Podolnaya L., Konarev A. et al. The diversity of fatty acid composition in traditional and rare oil crops cultivated in Russia. *Biological Communications*. 2020;65(1):68-81. DOI: 10.21638/spbu03.2020.106
- Gavrilyuk I.P., Fedin M.A., Gubareva N.K., Demkin P.P., Mikhshun T.A., Peneva T.I., Konarev A.V., Khakimova A.G., Sidorova V.V., Eggi E.E., Anisimova I.N., Tarlakovskaya A.M. (comp.). Recommendations concerning the use of protein markers in variety testing, seed production and seed control: [guidelines] (Rekomendatsii po ispolzovaniyu belkovykh markerov v sortoispytani, semenovodstve i semenom kontrole: [metodicheskiye ukazaniya]). V.G. Konarev (ed.). Moscow; Leningrad; 1989. [in Russian] (Рекомендации по использованию белковых маркеров в сортоиспытании, семеноводстве и семенном контроле: [методические указания]. / сост. И.П. Гаврилюк, М.А. Федин, Н.К. Губарева, П.П. Демкин, Т.А. Микшун, Т.И. Пенева, А.В. Конарев, А.Г. Хакимова, В.В. Сидорова, Е.Е. Эгги, И.Н. Анисимова, А.М. Тарлаковская; под ред. В.Г. Конарева. Москва; Ленинград: ВИР; 1989).
- Grigorev S.V., Illarionova K.V., Konarev A.V., Shelenga T.V. Differences in metabolites of white and naturally colored cotton: implications for biofunctional and aseptic textiles. *Journal of Natural Fibers*. 2022;19(13):7060-7072. DOI: 10.1080/15440478.2021.1941490
- Konarev A.V. Electrophoretic and immunochemical properties of albumin 0.19 and specific albumin of bread wheat (Elektroforeticheskiye i immunokhimicheskiye svoystva albumina 0,19 i spetsificheskogo albumina myagkoy pshenitsy). *Biokhimiya = Biochemistry*. 1978a;43(4):621-624. [in Russian] (Конарев А.В. Электрофоретические и иммунохимические свойства альбумина 0,19 и специфического альбумина мягкой пшеницы. *Биохимия*. 1978a;43(4):622-624).
- Konarev A.V. Identification of albumin 0.19 in grain protein of cereals. *Cereal Chemistry*. 1978b;55(6):927-936.
- Konarev A.V. The N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Industry marks its centenary (Vserossiyskomu institutu rasteniyevodstva imeni N.I. Vavilova 100 let). St. Petersburg: VIR; 1994a. [in Russian] (Конарев А.В. Всероссийскому институту растениеводства имени Н.И. Вавилова 100 лет. Санкт-Петербург: ВИР; 1994a).
- Konarev A.V. Vavilov All-Russia Research Institute of Plant Growing and its input in development of agricultural sciences and breeding in our country. *Agricultural Biology*. 1994b;29(3):3-31. [in Russian] (Конарев А.В. Всероссийский НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова его вклад в развитие сельскохозяйственной науки и селекции страны. *Сельскохозяйственная биология*. 1994b;29(3):3-31).
- Konarev A.V., Dolgikh V.V., Sendersky I.V., Konarev A.V., Kapustkina A.V., Lovegrove A. Characterisation of proteolytic enzymes of *Eurygaster integriceps* Put. (Sunn bug), a major pest of cereals. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 2019;22(1):379-385. DOI: 10.1016/j.aspen.2019.02.001
- Konarev A.V., Gavrilyuk I.P. Identification of albumin 0.19 in the proteins of wheat and other cereals (Identifikatsiya albumina 0.19 v belkakh zerna pshenitsy i drugikh zlakov). *Biokhimiya = Biochemistry*. 1978;43(1):28-33. [in Russian] (Конарев А.В., Гаврилюк И.П. Идентификация альбумина 0.19 в белках зерна пшеницы и других злаков. *Биохимия*. 1978;43(1):28-33).
- Konarev A.V., Gavrilyuk I.P., Migushova E.F. Differentiation of diploid wheats according to the data of the immunochemical analysis of gliadin (Differentsiatsiya diploidnykh pshenits po dannym immunokhimicheskogo analiza gliadina). *Doklady VASKhNIL = Reports of the USSR Academy of Agricultural Sciences*. 1974;(6):12. [in Russian] (Конарев А.В., Гаврилюк И.П., Мигушова Э.Ф. Дифференциация диплоидных пшениц по данным иммунохимического анализа глиадина. *Доклады ВАСХНИЛ*. 1974;(6):12).
- Konarev A.V., Vvedenskaya I.O., Nasonova E.A., Perchuk I.N. (comp.). Identification of cocksfoot, fescue and cockle varieties by prolamin electrophoresis: guidelines (Identifikatsiya sortov yezhi, ovsyaniitsy i plevyela metodom elektroforeza prolaminov: metodicheskiye ukazaniya). I.P. Gavrilyuk (ed.). Leningrad: VIR; 1988. [in Russian] (Идентификация сортов ежи, овсяницы и плевела методом электрофореза проламинов: методические указания / сост. А.В. Конарев, И.О. Введенская, Е.А. Насонова, И.Н. Перчук; под ред. И.П. Гаврилюк. Ленинград: ВИР; 1988).
- Konarev V.G., Gavrilyuk I.P., Gubareva N.K., Peneva T.I., Chmelleva Z.V., Konarev A.V., Akhmetov R.R., Giljazetdinov Sh.Ja., Sidorova V.V., Anisimova I.N., Eggi E.E., Vvedenskaya I.O., Khakimova A.G., Kudryakova N.V. Theoretical basis of plant breeding. Vol. 1. Molecular biological aspects of applied botany, genetics and plant breeding. V.G. Konarev (ed.). Moscow: Kolos; 1993. [in Russian] (Конарев В.Г., Гаврилюк И.П., Губарева И.П., Пенева Т.И., Чмелева З.В., Конарев А.В., Ахметов Р.Р., Гилязетдинов Ш.Я., Сидорова В.В., Анисимова И.Н., Эгги Э.Э., Введенская И.О., Хакимова А.Г., Кудрякова Н.В. Теоретические основы селекции. Т. 1. Молекулярно-биологические аспекты прикладной ботаники, генетики и селекции / под ред. В.Г. Конарева. Москва: Колос; 1993).
- Konarev V.G., Gavrilyuk I.P., Gubareva N.K., Peneva T.I., Chmelleva Z.V., Konarev A.V., Akhmetov R.R., Giljazetdinov Sh.Ja., Sidorova V.V., Anisimova I.N., Eggi E.E., Vvedenskaya I.O., Khakimova A.G., Kudryakova N.V. Theoretical basis of plant breeding. Vol. 1. Molecular biological aspects of applied botany, genetics and plant breeding. V.G. Konarev, A.V. Konarev (eds). St. Petersburg: VIR; 1996.
- Loskutov I.G., Shelenga T.V., Konarev A.V., Horeva V.I., Shavarda A.L., Blinova E.V. et al. Biochemical aspects of interactions between fungi and plants: a case study of *Fusarium* in oats. *Agricultural Biology*. 2019;54(3):575-588. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.3.575eng
- Loskutov I.G., Shelenga T.V., Konarev A.V., Khoreva V.I., Kerv Y.A., Blinova E.V. et al. Assessment of oat varieties with different levels of breeding refinement from the Vavilov Institute's collection applying the method of metabolomic profiling. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(1):104-117. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Шеленга Т.В., Конарев А.В., Хорева В.И., Керв Ю.А., Блинова Е.В. и др. Дифференциация сортов овса из коллекции ВИР по степени селекционной проработки на основе метаболомного профилирования. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(1):104-117). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-104-117

- Loskutov I.G., Shelenga T.V., Konarev A.V., Shavarda A.L., Blinova E.V., Dzubenko N.I. The metabolomic approach to the comparative analysis of wild and cultivated species of oats (*Avena L.*). *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2017;7(5):501-508. DOI: 10.1134/s2079059717050136
- Loskutov I.G., Shelenga T.V., Konarev A.V., Vargach Y.I., Porokhovinova E.A., Blinova E.V. et al. Modern approach of structuring the variety diversity of the naked and covered forms of cultural oats (*Avena sativa L.*). *Ecological Genetics*. 2020;18(1):27-41. DOI: 10.17816/ecogen12977
- Perchuk I.N., Konarev A.V., Loskutov I.G., Blinova E.V., Novikova L.Y., Horeva V.I., Kolodinska-Brantestam A. Protein markers, morphological and breeding-oriented characters in duplicate accession identification in the VIR (Russia) and Nordgen (Sweden) cultivated oat collections. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2016;177(3):82-93. [in Russian] (Перчук И.Н., Конарев А.В., Лоскутов И.Г., Блинова Е.В., Новикова Л.Ю., Хорева В.И., Колодинска-Брантестам А. Белковые маркеры, морфологические и селекционные признаки в идентификации дублированных образцов культурного овса в коллекциях ВИР (Россия) и Нордического генного банка (Nordgen, Швеция). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2016;177(3):82-93). DOI: 10.30901/2227-8834-2016-3-82-93
- Porov V.S., Khoreva V.I., Konarev A.V., Shelenga T.V., Blinova E.V., Malyshev L.L. et al. Evaluating germplasm of cultivated oat species from the VIR collection under the Russian Northwest conditions. *Plants*. 2022;11(23):3280. DOI: 10.3390/plants11233280
- Porokhovinova E.A., Shelenga T.V., Kerv Y.A., Khoreva V.I., Konarev A.V., Yakusheva T.V. et al. Features of profiles of biologically active compounds of primary and secondary metabolism of lines from VIR flax genetic collection, contrasting in size and color of seeds. *Plants*. 2022;11(6):750. DOI: 10.3390/plants11060750
- Shelenga T.V., Kerv Yu.A., Perchuk I.N., Solovyeva A.E., Khlestkina E.K., Loskutov I.G. et al. The potential of small grains crops in enhancing biofortification breeding strategies for human health benefit. *Agronomy*. 2021;11(7):1420. DOI: 10.3390/agronomy11071420
- Shelenga T.V., Malyshev L.L., Kerv Yu.A., Diubenko T.V., Konarev A.V., Horeva V.I. et al. Metabolomic approach to search for fungal resistant forms of *Aegilops tauschii* Coss. from the VIR collection. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(3):252-258. DOI: 10.18699/VJ20.618
- Shvachko N.A., Loskutov I.G., Semilet T.V., Popov V.S., Kovalova O.N., Konarev A.V. Bioactive components in oat and barley grain as a promising breeding trend for functional food production. *Molecules*. 2021;26(8):2260. DOI: 10.3390/molecules26082260
- Sidorova V.V., Kerv Yu.A., Konarev A.V. Identification of duplicate accessions in the sweet maize collection by means of zein electrophoresis. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(6):589-597. DOI: 10.18699/VJ20.652
- Sidorova V.V., Kerv Yu.A., Matveeva G.V., Konarev A.V. Prospects of using zein markers in breeding waxy maize lines and varieties. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):240-249. [in Russian] (Сидорова В.В., Керв Ю.А., Матвеева Г.В., Конарев А.В. Перспективы использования зеиновых маркеров в селекции линий и сортов восковидного подвита кукурузы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(3):240-249). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-240-249
- Solovyeva A.E., Shelenga T.V., Konarev A.V., Kurina A.B., Korniyukhin D.L., Fateev D.A. et al. Nutritional and biologically active compounds in Russian (VIR) Brassicaceae vegetable crops collection. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2021;45(5):541-556. DOI: 10.3906/tar-2010-95

Информация об авторах

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

Юлия Андреевна Керв, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, kerv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3728-6968>

Ирина Николаевна Перчук, 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, i.perchuk@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6568-5248>

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>

Алла Евгеньевна Соловьева, 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, alsol64@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>

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

Елена Константиновна Хлесткина, доктор биологических наук, профессор РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

Information about the authors

Tatyana 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>

Yulia A. Kerv, Cand. Sci. (Biology), Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, kerv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3728-6968>

Irina N. Perchuk, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, i.perchuk@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6568-5248>

Vitaly 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>

Alla E. Solovyeva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, alsol64@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>

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>

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, 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 01.02.2023; одобрена после рецензирования 27.02.2023; принята к публикации 02.03.2023.
The article was submitted on 01.02.2023; approved after reviewing on 27.02.2023; accepted for publication on 02.03.2023.

Выборочный список «Каталогов мировой коллекции ВИР» по зерновым культурам: овес, рожь и ячмень за 1964–2021 гг.

Selective list of the Catalogues of the VIR Global Collection of cereal crops: oat, rye, and barley, for 1964–2021

Издательская деятельность Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, на базе которого в 2022 году образован Национальный центр генетических ресурсов растений, началась в 1908 году и продолжается по сей день.

Начиная с 1961 года прошлого века ВИР издает серию «Каталог мировой коллекции ВИР», имеющую первоначальное название «Каталог - справочник мировой коллекции ВИР». Название серии на английском языке *Catalogue of the VIR Global Collection*, с 2018 года выходные данные каждого выпуска и аннотация представлены параллельно на русском и английском языках.

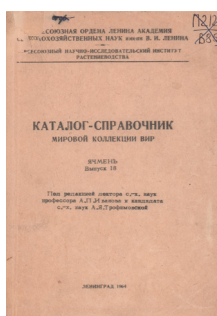
Данная серия в течение более 60 лет имеет свою специализированную аудиторию, все выпуски представляют единый систематизированный и документированный массив информации по изучению, сохранению и пополнению уникальной коллекции мировых генетических ресурсов ВИР. Выпуски данной серии по отдельным культурам нашли широкое применение в работе с генетическими ресурсами растений в области семеноводства и селекции, физиологии, биохимии, генетики, защиты растений, молекулярной биологии, биотехнологии.

В большинстве случаев, авторами (составителями) выпусков являются кураторы таксономических и тематических коллекций ВИР, ответственные за формирование, учет, документирование, содержание, сохранение и популяризацию коллекций генетических ресурсов растений.

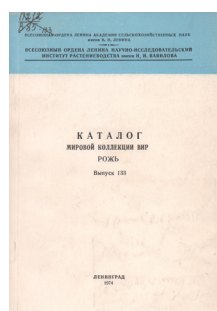
Каждый отдельный выпуск данной серии подлежит обязательному рецензированию. Научную экспертизу авторских материалов с целью определения возможности их публикации обеспечивают ведущие ученые и специалисты, имеющие близкую к теме научную специализацию. С 2022 года для издания каталога обязательным требованием является наличие не менее двух авторитетных рецензентов. Сведения о рецензентах указываются в выходных данных издания.

Серия «Каталог мировой коллекции ВИР» / *Catalogue of the VIR Global Collection* предназначена для селекционеров, специалистов растениеводства 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).

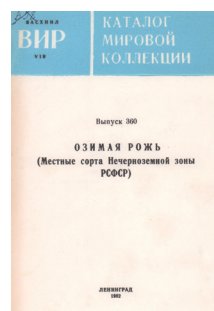
Редакция журнала «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции» с целью отражения многолетней издательской деятельности ВИР, привлечения дополнительного внимания к серии «Каталог мировой коллекции ВИР» / *Catalogue of the VIR Global Collection* и уточнения для авторов научных статей номеров и названий выпусков серии, приняла решение опубликовать «Выборочный список «Каталогов мировой коллекции ВИР» по зерновым культурам: овес, рожь и ячмень за 1964–2021 гг.». Для удобства пользования материал расположен в хронологическом порядке, по номерам выпусков. Мы надеемся, что список окажется полезным нашим читателям и авторам научных статей.



Выпуск 18



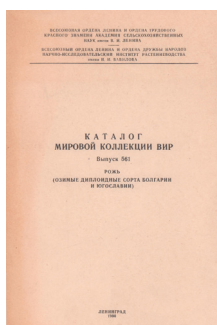
Выпуск 133



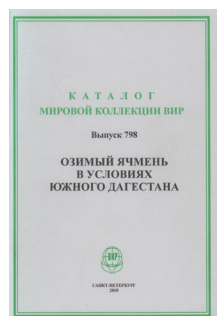
Выпуск 360



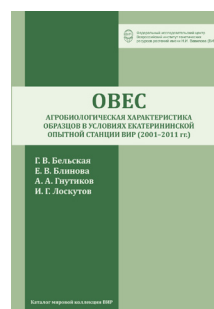
Выпуск 392



Выпуск 561



Выпуск 798



Выпуск 922



Выпуск 934

1. Каталог - справочник мировой коллекции ВИР. Вып. 18. Ячмень / А.Я. Трофимовская, М.В. Лукьянова, М.В. Старченкова ; под редакцией: А.П. Иванова, А.Я. Трофимовской ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. Ленинград : ВИР, 1964. 153, [1] с.
2. Каталог - справочник мировой коллекции ВИР. Вып. 21. Овес / А.И. Мордвинкина, Н.А. Родионова ; под редакцией: А.П. Иванова, А.И. Мордвинкиной ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. Ленинград : ВИР, 1965. 127 с.
3. Каталог - справочник [мировой коллекции ВИР]. О новых образцах коллекции ВИР / редакторы выпуска: З.Д. Артюгина, Р.Х. Макашева, М.М. Якубцинер ; ответственный за выпуск З.Д. Артюгина ; под общей редакцией Д.Д. Брежнева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства. Ленинград : ВИР, 1966. 122 с. : табл. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР ; вып. 1). Из содерж.: (Ячмень. С. 18-20; Овес. С. 20-22).
4. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 32. Каталог образцов мировой коллекции ВИР, перспективных в условиях орошения / редакторы выпуска: 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 зерновым культурам]: Э.М. Бернштейн, М.А. Гудимович, В.Ф. Дорофеев, М.В. Лукьянова, А.И. Макарычева, А.И. Мордвинкина, Н.А. Родионова, М.И. Руденко, М.В. Старченкова, С.Г. Тараканов, А.Я. Трофимовская, А.А. Филатенко, М.М. Якубцинер ; 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.: (Ячмень. С. 37-44; Овес. С. 45-46).
5. Каталог [мировой коллекции ВИР]. Вып. 43. О новых образцах коллекции ВИР / подготовили: сотрудники отдела интродукции ВИР: (К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицина, 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.: (Зерновые культуры: Ячмень. С. 19-22; Овес. С. 22-25; Рожь. С. 25).
6. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 58. Рожь / составители: В.Ф. Антропова, В.Д. Кобылянский, С.И. Кузнецова ; под редакцией: А.Я. Трофимовской, В.Д. Кобылянского ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1970. 93 с. : табл.
7. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 59. Каталог новых образцов мировой коллекции ВИР / подготовили: сотрудники отдела интродукции: С.Н. Бахарева, К.А. Кобылянская, А.Ф. Коломицина, Е.А. Толмачева, Ю.Н. Щербаков ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1970. 98 с. Из содерж.: (Зерновые культуры: Ячмень. С. 21-31; Рожь. С. 32-35; Овес. С. 35-36).
8. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 65. 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), 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.: (Зерновые культуры: Рожь. С. 41; Ячмень. С. 42-44; Овес. С. 45-50).
9. [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. Коломицина, 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.
10. [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.: (Зерновые культуры: ячмень, овес. С. 4-31).
11. Каталог [мировой коллекции ВИР]. Вып. 97. Характеристика устойчивости ячменя к пыльной головне, мучнистой росе и карликовой ржавчине / составители: А.Я. Трофимовская, В.И. Кривченко, Л.Г. Щелко, С.И. Трайнина ; под редакцией А.Я. Трофимовской ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1972. 43, [1] с. : табл.
12. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 101. Ячмень / составители: Н.В. Ильина, М.В. Лукьянова, Л.В. Преображенская, А.Т. Сергеева, М.В. Старченкова, А.Я. Трофимовская, Э.Д. Эммерих, Н.П. Ярош ; под редакцией А.Я. Трофимовской ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1972. 166, [1] с. : табл.
13. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 102. Овес / А.И. Мордвинкина, Н.А. Родионова, В.Н. Солдатов, Л.И. Храмышева, Н.П. Ярош ; под редакцией А.Я. Трофимовской ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1972. 162, [2] с. : табл.
14. Каталог образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в коллекцию ВИР в 1970 году. Вып. 110 / 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.
15. Каталог образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в коллекцию ВИР в 1971 г. Вып. 126 / 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.
16. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 127. Ячмень / составители: А.Я. Трофимовская, М.В. Лукьянова, Г.А. Ильичев, Л.В. Преображенская, С.Л. Тютюрев, Э.Д. Эммерих, Е.Ф. Артемова ; под редакцией А.Я. Трофимовской ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1974. 32, [2] с. : табл.
17. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 128. Овес / Н.А. Родионова, В.Н. Солдатов, Н.С. Иванова, С.Л. Тютюрев ; под редакцией А.Я. Трофимовской ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1974. 22 с. : табл.
18. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 133. Рожь / составители: В.Д. Кобылянский, Г.А. Ильичев, С.И. Кузнецова, А.Е. Корзун, А.Н. Ракина ; под редакцией: А.Я. Трофимовской, В.Д. Кобылянского ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1974. 167, [1] с. : табл.
19. [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.
20. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 137. Каталог образцов ржи из мировой коллекции ВИР с характеристикой содержания в зерне белка и незаменимых аминокислот / составители: В.Г. Конарев, А.Я. Трофимовская, З.В. Чмелева, В.Д. Кобылянский ; от-

ветственный за выпуск З.В. Чмелева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1974. 75 с.: табл.

21. [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.

22. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 149. Овес: (генетический фонд для создания сортов интенсивного типа) / составители: В.Г. Конарев, Н.А. Родионова, В.Н. Солдатов, Н.С. Иванова, З.В. Чмелева; под редакцией А.Я. Трофимовской; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1975. 42 с.: табл.

23. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 152. Рожь / составители: В.Д. Кобылянский, А.Е. Корзун, Т.Т. Ерошенко, Н.Т. Веденко, В.В. Виноградова, А.П. Ракитина, Н.Ф. Покровская, З.В. Чмелева, К.П. Хорошева; под редакцией: А.Я. Трофимовской, В.Д. Кобылянского; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1975. 119, [1] с.

24. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 155. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1974 году / 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. 170. Ячмень: (Исходный материал для селекции в Нечерноземной зоне РСФСР) / составители: М.В. Лукьянова, А.Я. Трофимовская, В.И. Барашкевич, К.С. Горелик, В.С. Ефимова, Н.С. Иванова, Л.В. Преображенская, А.М. Пыжов, З.В. Чмелева, Э.Д. Эммерих, В.Е. Мережко, Н.И. Лукина; под редакцией А.Я. Трофимовской; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1976. 118 с.: табл.

27. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 177. Образцы ячменя с характеристикой устойчивости к пыльной головне, мучнистой росе и карликовой ржавчине / Л.Г. Щелко, В.И. Кривченко, А.И. Танцюра, В.А. Вершинина, В.В. Тимошенко, Д.П. Пшинник; под редакцией В.И. Кривченко; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1976. 47, [1] с.: табл.

28. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 188. Генетические источники для решения актуальных проблем селекции сельскохозяйственных культур / составители: пшеница: (В.Ф. Дорофеев, М.И. Руденко, Р.А. Удачин, М.В. Новикова, О.Д. Градчанинова, И.П. Шитова, Л.В. Семенова), рожь: (В.Д. Кобылянский, А.Е. Корзун), ячмень: (А.Я. Трофимовская, М.В. Лукьянова), овес: (Н.А. Родионова, В.Н. Солдатов), кукуруза: Г.Е. Шмараев, А.П. Подольская, Н.В. Лейзерсон), сорго: (Е.С. Якушевский), рис: (А.Г. Ляховкин), томаты: (А.Н. Лукьяненко), огурцы: (Э.Т. Мещеров, Л.М. Юлдашева, В.И. Пыженков), подсолнечник: (А.В. Анащенко), хлопчатник: (А.В. Атланов, И.Ф. Другова), лен: (Г.Г. Давидян, Р.П. Рыкова), горох: (Р.Х. Макашева), соя: (Н.И. Корсаков, К.А. Белехова), люцерна: (П.П. Лубенец), клевер красный: (Н.А. Мухина), мятлик луговой: (З.П. Шутова); ответственный редактор А.Я. Трофимовская; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1977. 157, [1] с.: табл. Из содерж.: (Рожь. С. 28-40; Ячмень. С. 41-54; Овес. С. 55-71).

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. 192. Образцы ржи с характеристикой технологических свойств зерна / составители: В.И. Комаров, В.Д. Кобылянский, А.Н. Ракитина, Г.В. Ильичев, А.Е. Корзун; под редакцией А.Н. Ракитиной; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1977. 134, [2] с.: табл.

31. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 197. Образцы ржи с характеристикой содержания 5-алкилрезорцинолов в зерне / составители: В.Г. Конарев, З.В. Чмелева, К.Г. Козлова, В.Д. Кобылянский; под редакцией З.В. Чмелевой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1977. 45, [3] с.: табл.

32. 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.: (Зерновые культуры: рожь, ячмень, овес. С. 10-27).

33. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 214. Результаты предварительной оценки сортов сельскохозяйственных культур Западной Африки / составитель С.Н. Бахарева; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1977. 112 с. Из содерж.: (Ячмень. С. 5).

34. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 225. Образцы ржи с характеристикой содержания белка и лизина в зерне / составители: В.Г. Конарев, З.В. Чмелева, В.Д. Кобылянский, А.Е. Корзун; под редакцией З.В. Чмелевой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1978. 36 с.: табл.

35. [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.

36. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 227. Рожь / составители: В.Д. Кобылянский, А.Е. Корзун, А.Н. Ракитина, З.В. Чмелева, Т.Т. Ерошенко; под редакцией В.Д. Кобылянского; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1978. 82, [2] с.

37. 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.: (Зерновые культуры: рожь, ячмень, овес. С. 14-27).

38. Каталог мировой коллекции. Вып. 234. Ячмень: (Характеристика сортов по технологическим свойствам) / составители: А.Я. Трофимовская, М.В. Лукьянова, В.И. Комаров, Н.В. Ильина, А.Т. Сергеева, В.С. Ефимова, Н.С. Иванова, К.И. Лейструмас, С.М. Молдалиев, Д.И. Пацка, Л.В. Преображенская, Л.И. Храмышева, Г.М. Богданова; под редакцией А.Я. Трофимовской, В.И. Комарова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1978. 97, [1] с.: табл.

39. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 237. Характеристика устойчивости сортов зерновых культур (озимая и яровая пшеница, озимая рожь, овес, ячмень) к овсяной цистообразующей нематоде *Heterodera avenae* Woll. / составители: Л.В. Тихонова, В.Ф. Доро-

феев, М.И. Руденко, И.П. Шитова, А.Я. Трофимовская, М.В. Лукьянова, Н.А. Родионова, В.Н. Солдатов, В.Д. Кобылянский, А.Е. Корзун ; под редакцией А.Я. Трофимовской ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, Всесоюзный институт гельминтологии им. К.И. Скрябина. Ленинград : ВИР, 1978. 23, [1] с. : табл.

40. [Каталог мировой коллекции ВИР]. Вып. 244. Образцы ржи с характеристикой технологических свойств зерна / составители: А.Н. Ракитина, В.И. Комаров, В.Д. Кобылянский, А.Е. Корзун ; под редакцией В.И. Комарова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1978. 70 с. : табл.

41. Каталог мировой коллекции. Вып. 247. Озимый ячмень / составители: Е.Н. Алексеева, Э.А. Барашкова, Г.П. Воронкин, К.С. Горелик, Г.А. Ильичев, М.В. Лукьянова, А.А. Постолатий, Л.В. Преображенская, А.Я. Трофимовская ; под редакцией А.Я. Трофимовской ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1979. 43, [3] с. : табл.

42. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 252. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие 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.

43. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 259. Рожь / составители: В.Д. Кобылянский, А.Е. Корзун, А.Н. Ракитина, З.В. Чмелева ; под редакцией В.Д. Кобылянского ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1979. 22, [2] с. : табл.

44. 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.: (Зерновые культуры: Рожь. С. 10-11; Ячмень. С. 15-26; Овес. С. 26-31).

45. 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.

46. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 269. Овес : (Итоги изучения коллекции в лесостепной зоне УССР) / составители: Г.А. Корольская, Н.А. Родионова, В.Н. Солдатов, И.В. Гречка, Г.Н. Громыко, А.В. Заговора, Е.П. Дуленко, Л.М. Ефимова ; под редакцией А.Я. Трофимовской, В.Т. Манзюка ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, Украинский научно-исследовательский институт растениеводства, селекции и генетики им. В.Я. Юрьева. Ленинград : ВИР, 1980. 214 с. : табл.

47. 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.

48. Каталог мировой коллекции. Вып. 278. Ячмень : (Характеристика образцов по содержанию белка и лизина) / составители: В.Г. Конарев, З.В. Чмелева, Н.И. Лукина, А.Я. Трофимовская, М.В. Лукьянова, А.Е. Нагибин, Т.А. Соловьева, Э.Д. Эммерих, В.В. Мешков, С.Б. Молдалиев, Л.Д. Пронина, И.А. Терентьева ; под редакцией З.В. Чмелевой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1980. 80 с. : табл.

49. Каталог мировой коллекции. Вып. 279. Ячмень : (Характеристика сортов по фотопериодической реакции) / составители: О.А. Иванова, В.Е. Мережко ; под редакцией А.Я. Трофимовской, О.Д. Быкова ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1980. 43 [1] с. : табл.

50. 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.: (Зерновые культуры: Рожь. С. 19-20; Ячмень. С. 22-32; Овес. С. 32-36).

51. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 294. Морозоустойчивость озимой ржи разных эколого-географических групп / составители: В.В. Виноградова, В.Д. Кобылянский ; под редакцией В.Г. Удовенко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1980. 18, [2] с. : табл.

52. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 300, ч. 1. Ячмень : (Итоги изучения коллекции в условиях лесостепи УССР) / составители: Г.А. Корольская, М.В. Лукьянова, В.Т. Манзюк, А.Я. Трофимовская, В.А. Корнейчук ; под редакцией А.Я. Трофимовской, М.В. Лукьяновой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, Украинский научно-исследовательский институт растениеводства, селекции и генетики им. В.Я. Юрьева. Ленинград : ВИР, 1981. 256 с. : табл.

53. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 301, ч. 2. Ячмень : (Итоги изучения коллекции в условиях лесостепи УССР) / составители: Г.А. Корольская, М.В. Лукьянова, В.Т. Манзюк, А.Я. Трофимовская, В.А. Корнейчук ; под редакцией А.Я. Трофимовской, М.В. Лукьяновой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, Украинский научно-исследовательский институт растениеводства, селекции и генетики им. В.Я. Юрьева. Ленинград : ВИР, 1981. С. 257-450, [2] с. : табл.

54. 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, 110, [2] с. : табл.

55. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 306. Ячмень : (Устойчивость сортов к экстремальным факторам среды) / составители: Н.Н. Кожушко, М.В. Лукьянова, Л.А. Семушина, А.Я. Трофимовская, А.М. Волкова, А.А. Басистов, К.С. Горелик, Г.А. Ильичев, Л.Д. Пронина, Р.Н. Чернышева ; под редакцией Г.В. Удовенко, М.В. Лукьяновой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1981. 95, [1] с. : табл.

56. 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.: (Зерновые культуры: рожь, ячмень, овес. С. 18-34).

57. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 322. Растительные ресурсы Советского Союза (экспедиции ВИР в 1971–1980 годах) / составители: Э.Т. Мещерова, 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.

58. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 324. Рожь / составители: В.Д. Кобылянский, А.Е. Корзун, А.Н. Ракитина, З.В. Чмелева, Н.О. Белугина; под редакцией В.Д. Кобылянского; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 58, [2] с.

59. 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.

60. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 335. Ячмень: (Образцы, выращенные в условиях Нечерноземной зоны РСФСР, с характеристикой содержания белка и лизина в зерне) / составители: В.Г. Конарев, А.Я. Трофимовская, З.В. Чмелева, Н.В. Лукьянова, А.Е. Нагибин, А.М. Петрова; под редакцией З.В. Чмелевой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 103, [1] с.: табл.

61. 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.

62. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 346. Овес: (характеристика содержания белка и лизина в зерне) / составители: В.Г. Конарев, З.В. Чмелева, Н.А. Родионов, В.Н. Солдатов, Г.А. Корольская, А.Е. Нагибин, Э.С. Денисова, В.Е. Мережко, Л.Н. Ермолаева, З.М. Федотова, Л.М. Ефимова; под редакцией З.В. Чмелевой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 82 с.: табл.

63. 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.: (Зерновые культуры: Рожь. С. 20-23; Ячмень. С. 24-39; Овес. С. 39-44).

64. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 356. Информация о зарубежных экспедициях и командировках ВИР в 1971–1980 гг. / составители: Э.Т. Мещерова, К.А. Кобылянская; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 39, [1] с.: табл.

65. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 359. Ячмень: (исходный материал для селекции в республиках Прибалтики и Белорусской ССР) / составители: А.Я. Трофимовская, Н.С. Иванова, М.В. Лукьянова, А.М. Петрова, С.И. Гриб, А.С. Данилов, В.А. Семенов; под редакцией М.В. Лукьяновой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 124 с.: табл.

66. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 360. Озимая рожь: (Местные сорта Нечерноземной зоны РСФСР) / составители: В.Д. Кобылянский, А.Е. Корзун, А.Н. Ракитина, Н.О. Белугина, Т.Т. Ершенико, Л.Г. Губанова; под редакцией В.Д. Кобылянского; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1982. 103 с.

67. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 367. Яровые пшеница и ячмень: (Характеристика сортов устойчивых к шведской мухе) / составители: Р.Б. Рабинович, Г.А. Корольская, А.В. Заговора, А.Б. Кравченко, И.В. Гречиха, Г.Н. Громыко, Р.А. Удачин, А.А. Трофимовская, З.В. Кудрявцева, М.В. Лукьянова, Н.И. Тишков; под редакцией В.Ф. Дорофеева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, Украинский научно-исследовательский институт растениеводства, селекции и генетики им. В.Я. Юрьева. Ленинград: ВИР, 1983. 31, [1] с.: табл.

68. 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.

69. 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: зерновые колосовые культуры: В.Ф. Дорофеев, В.А. Вершинина, К.С. Горская, О.Д. Градчанинова, А.Э. Жукова, А.Г. Катерова, В.Д. Кобылянский, А.Е. Корзун, В.И. Кривченко, Н.С. Лапинов, М.В. Лукьянова, В.Е. Мережко, Д.В. Мягкова, М.В. Новикова, И.Г. Одинцова, Н.А. Родионова, Л.В. Семенова, В.Н. Солдатов, О.В. Солодухина, Д.В. Танцора, И.А. Терентьева, Р.А. Удачин, А.А. Филатенко, А.П. Хохлова, Н.Т. Шайдуко, И.П. Шитова; под редакцией: В.Ф. Дорофеева, В.Д. Кобылянского; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1984. 267, [1] с. Из содерж.: (Зерновые колосовые культуры: Рожь. С. 50-67; Яровой ячмень. С. 67-89; Овес. С. 89-102).

70. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 392. Овес: (генетический фонд для создания сортов интенсивного типа) / составители: В.Д. Кобылянский, В.И. Кривченко, Н.С. Иванова, Н.А. Родионова, В.Н. Солдатов, В.Е. Мережко, С.И. Гриб, Е.М. Обухович, А.И. Кузнецова, Т.Ф. Чаева, Д.В. Мягкова, Л.В. Козленко, Л.Г. Губанова, А.Е. Нагибин, Ю.Н. Суслова, Ж. Бахарева, Н.Г. Быстренко, Э.С. Денисова, А.Э. Жукова; под редакцией В.Д. Кобылянского; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1983. 204, [2] с.: табл.

71. 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.

72. 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. Оксюзан, 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.: (Зерновые культуры: Рожь. С. 22; Ячмень. С. 24-41; Овес. С. 41-52).

73. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 408. Ячмень: (Исходный материал для селекции ярового ячменя в условиях лесостепи УССР и Молдавии) / составители: М.В. Лукьянова, В.Д. Заболотная, К.С. Горелик, Г.А. Ильичев, Н.В. Ильина, В.В. Рожкован, В.М. Руссу; под редакцией М.В. Лукьяновой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1984. 92, [4] с.: табл.

74. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 411. Ячмень: (Исходный материал для селекции в северо-восточном регионе Нечерноземной зоны РСФСР) / составители: В.Д. Кобылянский, М.В. Лукьянова, А.Е. Нагибин, Н.В. Ильина, И.А. Терентьева, Н.А. Родина, Л.З. Тюлина, З.Г. Ефремова, Л.Д. Соломицкая; под редакцией В.Д. Кобылянского; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 1984. 146, [2] с.: табл.

75. 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. Танцора, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксюзан, Л.П. Тарасовская, Ф.Т. Цангас, Е.И. Федоренко; под редакцией Э.Т. Мещерова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-иссле-

- довательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1984. 133, [3] с. Из содерж.: (Зерновые культуры: Рожь. С. 26-27; Ячмень. С. 31-44; Овес. С. 44-45).
76. 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.
77. 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. Оксюзан, 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.: (Зерновые культуры: Ячмень. С. 29-40; Овес. С. 40-45).
78. 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.
79. Ячмень : (Перечень сортов с характеристикой хозяйственно-ценных признаков) / составители: В.Д. Кобылянский, В.Т. Манзюк, Г.А. Корольская, М.В. Лукьянова, Н.В. Ильина, Г.Н. Громыко, А.Г. Дунаевский, З.В. Чмелева, В.Д. Заболотная, Н.Д. Никитина, В.В. Сотников; под редакцией: В.Д. Кобылянского, М.В. Лукьяновой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, Украинский научно-исследовательский институт растениеводства, селекции и генетики им. В.Я. Юрьева. Ленинград : ВИР, 1986. 245, [3] с. : табл.
80. Каталог исходного материала ярового ячменя для селекции на устойчивость к основным болезням и шведской мухе в условиях лесостепи УССР / составители: Украинский научно-исследовательский институт растениеводства, селекции и генетики: Г.Н. Громыко, А.Г. Дунаевский, В.В. Сотников, Т.А. Скрынник, Т.Б. Капустина, Л.Н. Чернобай, Е.Н. Белецкий, А.Б. Кравченко, В.Т. Манзюк, Г.А. Корольская, Н.М. Лукьяненко, Е.В. Бибик, Е.П. Дуленко, М.Л. Мельниченко; Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова (ВИР): В.И. Кривченко, М.В. Лукьянова, А.П. Хохлова; ответственный за выпуск Г.Н. Громыко; под редакцией В.И. Кривченко; ВАСХНИЛ. Южное отделение, Украинский научно-исследовательский институт растениеводства, селекции и генетики им. В.Я. Юрьева. Харьков, 1987. 28 с. : табл.
81. Перечень образцов ячменя из Мексики с характеристикой фотопериодической реакции и хозяйственно ценных признаков / составители: О.А. Иванова, Н.С. Иванова, М.В. Лукьянова, П.П. Бережной, С.И. Гриб, Е.Д. Костина; под редакцией: О.Д. Быкова, М.В. Лукьяновой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1987. 52, [2] с. : табл.
82. 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. Зотева, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксюзан, 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.: (Зерновые культуры: Ячмень. С. 20-33; Рожь. С. 34-36; Овес. С. 38-41).
83. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 449. Озимая рожь : (Местные сорта Украинской ССР) / составители: В.Д. Кобылянский, А.Е. Корзун, А.Н. Ракина, Л.Г. Губанова, Т.Т. Ерошенко; под редакцией В.Д. Кобылянского; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1987. 98, [2] с.
84. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 452. Ячмень : (Комплексная характеристика образцов по морфофизиологическим и хозяйственно ценным признакам в условиях Мексики) / составители: В.А. Кошкин, М.В. Лукьянова, А.А. Кошкина, А.К. Прядехина; под редакцией: В.Д. Кобылянского, О.Д. Быкова; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1988. 26, [1] с. : табл.
85. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 453. Сорта зерновых культур с известными генами устойчивости к грибным болезням / составители: В.И. Кривченко, И.Г. Одинцова, Н.А. Макарова, В.А. Крупнов, Л.А. Смирнова, А.Э. Жукова, А.П. Хохлова, Т.В. Лебедева, В.А. Вершинина, О.Г. Григорьева, Л.А. Анпилогова, М.В. Суздальская, Л.А. Королева, Е.В. Кузнецова; под редакцией: В.И. Кривченко, И.Г. Одинцовой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1987. 77, [2] с. Из содерж.: (Характеристика генов устойчивости к важнейшим болезням зерновых колосовых культур: [ячмень, овес]. С. 28-45; Перечень сортов с изученной генетикой: Сорта ячменя. С. 60-65; Сорта овса. С. 66-68).
86. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 459. Ячмень : (Комплексная характеристика сортов для селекции в условиях Нечерноземной зоны РСФСР) / составители: Э.Д. Неттевич, В.Д. Кобылянский, М.В. Лукьянова, И.В. Лошак, В.П. Чепелев, Н.М. Влащенко, К.С. Горелик, Л.И. Королева, Л.З. Тюлина, Н.В. Ильина, Л.И. Храмышева, Л.Д. Соломицкая, Н.П. Ярош, Н.Д. Никитина, И.А. Терентьева, Е.Ю. Ковалева, Г.В. Кобылянский, О.Д. Киселева, Л.И. Юрченко, Н.П. Журавлева; под редакцией: В.Д. Кобылянского, М.В. Лукьяновой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1988. 198 с. : табл.
87. 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. Из содерж.: (Овес пус-той, овсюг. С. 8-11).
88. 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. Зотева, С.Г. Иванова, А.И. Танцюра, Н.А. Кирьян, Р.А. Оксюзан, 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.: (Зерновые культуры: Ячмень. С. 20-28; Овес. С. 28-31).
89. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 476. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1987 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотева, К.А. Кобылянская, М.Х. Галаев, Т.А. Комарова, Л.А. Бавтутова; под редакцией С.Н. Бахаревой; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1988. 31, [1] с. : табл.
90. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 479. Овес : (Образцы с характеристикой содержания белка и лизина) / составители: З.В. Чмелева, Л.Н. Ермолаева, В.И. Лавринова, В.Е. Мережко, В.Н. Солдатов, О.И. Кузнецова, Г.Л. Петров; под редакцией В.Г. Конарева; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 30, [2] с. : табл.
91. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 487. Образцы сельскохозяйственных культур, поступившие в 1988 г. / составители: С.Н. Бахарева, Л.Е. Горбатенко, Н.М. Зотева, 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.

92. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 489. Озимая рожь / составители: В.Д. Кобылянский, А.Е. Корзун, А.Н. Ракитина, З.В. Чмелева, В.С. Смирнова, Л.Г. Губанова, Т.Т. Ерошенко ; под редакцией В.Д. Кобылянского ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 34, [4] с. : табл.

93. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 492. Овес : (Исходный материал для селекции сортов интенсивного типа в Нечерноземной зоне РСФСР) / составители: В.Н. Солдатов, В.Е. Мережко, Л.А. Кремкова, И.Г. Лоскутов, Н.А. Родионова, Л.В. Козленко, Л.Г. Губарева, А.П. Дмитриева, О.Е. Чупцова, О.И. Кузнецова, Г.К. Низова ; под редакцией В.Д. Кобылянского ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 146, [4] с. : табл.

94. 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. Оксюзян, 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. Бахарева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 159, [1] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Зерновые культуры: Ячмень. С. 14-25; Овес. С. 25-30).

95. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 515. Ячмень : (Характеристика поражаемости возбудителями пыльной головни, карликовой ржавчины и мучнистой росой) / составители: А.П. Хохлова, В.А. Вершинина, М.В. Лукьянова, И.А. Терентьева ; под редакцией В.И. Кривченко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 74, [2] с. : табл.

96. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 517. Ячмень : (Характеристика по выносливости к корневым гнилям и устойчивости к сетчатой пятнистости) = Ячмень : (Характеристика по выносливости к корневым гнилям и к сетчатой пятнистости) / составители: М.Ф. Григорьев, М.В. Лукьянова, А.А. Сидоров, Э.Д. Эммерих, О.С. Афанасенко, И.Ю. Кушниренко, Н.Д. Никитина, И.А. Терентьева ; под редакцией М.Ф. Григорьева, М.В. Лукьяновой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1989. 119, [1] с. : табл.

97. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 519. Сельскохозяйственные растения и их сородичи Северной Америки / составитель Ю.Н. Щербаков ; под редакцией С.Н. Бахарева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 333, [3] с. : ил., [1] л. карт. Из содерж.: (Ячмень. С. 44-45).

98. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 532. Озимая тетраплоидная рожь / составители: В.Д. Кобылянский, Н.О. Белугина, А.Н. Ракитина, З.В. Чмелева, А.Е. Корзун, В.А. Чиркова ; под редакцией В.Д. Кобылянского ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 36, [2] с. : табл.

99. 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. Бахарева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 44, [2] с. : табл.

100. 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. Оксюзян, 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. Бахарева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 102, [2] с. (Экспресс-информация / ВАСХНИЛ, ВИР). Из содерж.: (Зерновые культуры: Ячмень. С. 7-12; Рожь. С. 13-14; Овес. С. 14-18).

101. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 547. Ячмень : (исходный материал для селекции в условиях Предгорной зоны Северного Кавказа) / составители: М.В. Лукьянова, Г.Н. Гудкова, Л.М. Уварова, Е.И. Алексеева, Н.В. Ильина ; под редакцией В.Д. Кобылянского, М.В. Лукьяновой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 77, [1] с. : табл.

102. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 550. Генеалогия зарубежных сортов зерновых культур : (овес, рожь, тритикале, пшеница) / составитель К.А. Кобылянская ; под редакцией С.Н. Бахарева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 76, [2] с. : табл.

103. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 558. Овес : (Характеристика образцов по фотопериодической реакции) / составители: О.А. Иванова, В.Е. Мережко, Е.Д. Костина, О.И. Кузнецова ; под редакцией О.Д. Быкова, В.Н. Солдатов ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 31, [1] с. : табл.

104. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 561. Рожь : (озимые диплоидные сорта Болгарии и Югославии) / составители: В.Д. Кобылянский, А.Е. Корзун, А.Н. Ракитина, Л.Г. Губарева, Т.Т. Ерошенко, Н.О. Белугина, Е.В. Блинова ; под редакцией В.Д. Кобылянского ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1990. 27, [1] с. : табл.

105. 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. Бахарева ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 63, [1] с. : табл.

106. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 587. Овес : (Характеристика исходного материала для селекции овса в условиях Северного Зауралья) / составители: Г.Л. Петров, В.Н. Солдатов, В.Е. Мережко, И.Г. Лоскутов ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 53, [1] с. : табл.

107. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 603. Ячмень : (Исходный материал для селекции на Украине) / составители: В.Т. Манзюк, Е.Н. Бирик, М.В. Лукьянова, Н.Д. Никитина ; под редакцией В.Т. Манзюка, М.В. Лукьяновой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, Украинский научно-исследовательский институт растениеводства, селекции и генетики им. В.Я. Юрьева. Ленинград : ВИР, 1991. 114 с. : табл.

108. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 605. Ячмень : (Характеристика селекционных и местных сортов на солеустойчивость) / составители: Г.В. Давыдова, В.С. Коваль, М.В. Лукьянова ; под редакцией: Б.В. Ригина, М.В. Лукьяновой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 32, [2] с. : табл.

109. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 607. Озимая диплоидная и тетраплоидная рожь / составители: В.Д. Кобылянский, А.Е. Корзун, Н.О. Белугина, З.В. Чмелева, А.Н. Ракитина, Е.В. Блинова ; под редакцией В.Д. Кобылянского ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 30, [1] с. : табл.

110. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 610. Ячмень : (Продуктивность и хозяйственно ценные признаки на засоленных почвах Азербайджана) / составители: Г.А. Новрузов, Г.В. Удовенко ; под редакцией Г.В. Удовенко ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 25, [1] с. : табл.

111. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 632. Ячмень : (Исходный материал для селекции в Нечерноземной зоне России) / составители: М.В. Лукьянова, Н.В. Ильина, Н.С. Иванова, Г. [А.П. — ред.] Хохлова, О.А. Иванова, Н.И. Лукина, Л.З. Тюлина, Л.В. Аникина, Г.М. Богданова, Н.Н. Иванова, Н.Д. Никитина, И.А. Терентьева ; под редакцией: В.Д. Кобылянского, М.В. Лукьяновой ; ВАСХНИЛ, Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград : ВИР, 1991. 114 с. : табл.

- Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1992. 108, [2] с. : табл.
112. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 633. Овес : (Характеристика исходного материала для селекции сортов овса в условиях Дальнего Востока и Восточной Сибири) / составители: В.Л. Ермолаева, Н.А. Родионова, В.Н. Солдатов, В.Е. Мережко, В.В. Колчанов, А.А. Колчанова, В.Т. Тихомиров, И.Г. Лоскутов, Е.Ф. Сидорова ; под редакцией В.Д. Кобылянского ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1992. 104, [2] с. : табл.
113. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 636. Яровой ячмень : (Характеристика образцов по содержанию белка и лизина в условиях Красноярского края) / составители: З.В. Чмелева, М.А. Тимина, М.В. Лукьянова, В.И. Лавринова, Е.А. Баранова, Л.Н. Ермолаева, Н.О. Голубева ; под редакцией В.Г. Конарева ; РАСХН, Всероссийский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1993. 46, [2] с. : табл.
114. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 643. Полезные сорные растения во флоре СССР / составитель Т.Н. Ульянова ; под редакцией М.Г. Агаева ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1993. 159, [1] с. : табл.
109. 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. Конохова, 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.: (Зерновые культуры: Ячмень. С. 9-14; Овес. С. 14-19; Рожь. С. 19).
115. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 659. Овес : (Характеристика образцов по засухоустойчивости в условиях Среднего Поволжья) / составители: В.Н. Солдатов, И.В. Васячкина, В.Е. Мережко, В.И. Хорева, В.В. Глуховцев, Л.Д. Пронина ; под редакцией В.Д. Кобылянского, В.Н. Солдатова ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1994. 47, [1] с. : табл.
116. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 662. Овес : (Характеристика образцов по содержанию белка, жира и крахмала в условиях Кемеровской области) / составители: В.Н. Солдатов, А.Н. Чуманова, В.Е. Мережко, З.В. Чмелева, Л.Н. Сазонова, В.И. Хорева, В.И. Лавринова, Е.А. Баранова ; под редакцией В.Д. Кобылянского, В.Н. Солдатова ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1994. 54, [2] с. : табл.
117. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 667. Овес : (Исходный материал для селекции на качество зерна в Нечерноземной зоне России) / составители: В.Н. Солдатов, Л.В. Козленко, Л.Г. Губанова, В.Е. Мережко ; под редакцией В.Д. Кобылянского, В.Н. Солдатова ; РАСХН, Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1995. 38, [2] с. : табл.
118. 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.
119. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 680. Озимая рожь / составители: В.Д. Кобылянский, Н.О. Белугина, А.Н. Ракитина, З.В. Чмелева, Е.В. Блинова ; под редакцией В.Д. Кобылянского ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1998. 16 с. : табл.
120. 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. 65, [3] с. : табл.
121. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 684. Ячмень : Источники устойчивости к сетчатому гельминтоспориозу, видам головни, карликовой ржавчине / составители: М.В. Лукьянова, А.П. Хохлова, О.С. Афанасенко, И.А. Терентьева, Л.Р. Тюлина, Г.М. Богданова, И.Г. Макарова ; под редакцией В.Д. Кобылянского, М.В. Лукьяновой ; ВАСХНИЛ, Всероссийский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1996. 45, [3] с. : табл.
122. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 685. Генетическая коллекция ячменя с идентифицированными генами устойчивости к мучнистой росе / составители: М.В. Лукьянова, И.А. Терентьева ; под редакцией В.Д. Кобылянского, М.В. Лукьяновой ; РАСХН, Всероссийский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1997. 76, [2] с. : табл.
123. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 686. Овес : (Образцы с идентифицированными генами, контролирующими биологические, морфологические и хозяйственно ценные признаки) / составители: И.Г. Лоскутов, В.Е. Мережко ; под научной редакцией В.Д. Кобылянского ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1997. 83, [1] с.
124. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 699. Озимая рожь / составители: В.Д. Кобылянский, Н.О. Белугина, А.Н. Ракитина, З.Р. Чмелева, Е.В. Блинова ; под редакцией В.Д. Кобылянского ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1999. 40, [2] с. : табл.
125. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 701. Ячмень : (Лабораторная оценка образцов ячменя на кислотоустойчивость ($A1^{3+}$, Mn^{2+}) / составители: Е.В. Груздева, О.В. Яковлева, И.А. Косарева, А.М. Капешинский, И.А. Терентьева, О.Н. Ковалева ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1999. 27, [1] с. : табл.
126. 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.: (Зерновые. С. 4-19).
127. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 704. Овес : (Характеристика зерна дикорастущих видов по содержанию и аминокислотному составу белка и по жирнокислотному составу масла в условиях Ленинградской области. Белковые формулы овса по электрофоретическим спектрам авенина) / составители: И.Г. Лоскутов, З.В. Чмелева, Н.К. Губарева, В.И. Хорева, Г.К. Низова ; под редакцией: В.Д. Кобылянского, И.Г. Лоскутова ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 1999. 42, [2] с. : табл.
128. 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.: (Зерновые. С. 4-11).
129. 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.: (Зерновые. С. 4-18).

130. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 720 : Яровой ячмень : (Характеристика образцов по содержанию белка и лизина в условиях Северо-Запада России) / составители: З.В. Чмелева, И.А. Терентьева, Г.М. Богданова, Л.В. Аникина, Н.Н. Иванова ; под редакцией В.Д. Кобылянского ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 102, [2] с. : табл.

131. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 725. Краткая характеристика новых зарубежных 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 редакцией Л.Е. Горбатенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2000. 39, [3] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Зерновые культуры. С. 4-24).

132. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 730. Яровой ячмень : (Характеристика образцов по фотопериодической чувствительности) / В.А. Кошкин, И.И. Матвиенко, И.А. Терентьева ; под редакцией В.Д. Кобылянского, И.А. Косарева ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2002. 13, [3] с. : табл.

133. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 731. Ячмень : (Характеристика сортимента Мексики по устойчивости к грибным болезням) / составители: А.П. Хохлова, В.И. Кривченко, И.А. Терентьева, В.А. Вершинина, Г.М. Богданова, Л.В. Аникина ; под редакцией В.И. Кривченко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2001. 66, [2] с. : табл.

134. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 732. Краткая характеристика новых зарубежных 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, 2000. 46, [2] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Зерновые культуры. С. 4-19).

135. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 735. Овес : (Характеристика образцов видов овса по устойчивости к грибным и вирусным заболеваниям в условиях Северо-Запада России) / составитель И.Г. Лоскутов ; под редакцией Е.Е. Радченко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2002. 70, [4] с. : табл.

136. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 739. Овес : (Характеристика образцов по фотопериодической чувствительности) / составители: В.А. Кошкин, И.Г. Лоскутов, В.Н. Солдатов, И.И. Матвиенко ; под редакцией И.А. Косарева ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2003. 17, [3] с. : табл.

137. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 750. Ячмень : (Характеристика образцов по устойчивости к грибным болезням) / составители: Л.Г. Тырышкин, И.А. Звейнек, Н.Н. Соловьева, И.А. Терентьева ; под редакцией Е.Е. Радченко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 16, [2] с. : табл.

138. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 751. Ячмень : (Устойчивость образцов из Юго-Восточной Азии к вредителям и болезням) / Е.Е. Радченко, И.А. Звейнек, Л.Г. Тырышкин, Г.С. Коновалова, А.Г. Семенова, А.П. Хохлова ; под редакцией Е.Е. Радченко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 42, [2] с. : табл.

139. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 753. Краткая характеристика новых зарубежных образцов сельскохозяйственных культур, поступивших в 2001 г. / составители: Л.Е. Горбатенко, В.Г. Фунтова, Л.В. Багмет, 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, 2000. 29, [3] с. (Экспресс-информация / РАСХН, ВИР). Из содерж.: (Зерновые культуры. С. 4-13).

140. 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.: (Зерновые. С. 4-11).

141. 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). Из содерж.: (Зерновые. С. 4-7).

142. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 757. Озимая рожь : (Селекционная ценность доноров и новых образцов) / составители: В.Д. Кобылянский, О.В. Солодухина, Н.О. Белугина, И.В. Сафонова, Е.В. Блинова, З.В. Чмелева, В.И. Хорева, П.В. Лекомцев, Л.В. Аникина, И.В. Лискова ; под редакцией В.Д. Кобылянского ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2004. 46, [2] с. : табл.

143. 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.: (Зерновые культуры. С. 4-11).

144. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 771. Ячмень : (Характеристика образцов ярового ячменя по устойчивости к видам головни) / составители: А.П. Хохлова, И.А. Терентьева, И.А. Звейнек ; под редакцией Е.Е. Радченко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2005. 18, [2] с. : табл.

145. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 777. Овес : (Исходный материал для селекции в Нечерноземной зоне России) / составители: Л.В. Козленко, И.Г. Лоскутов, Е.В. Блинова, Л.В. Аникина ; под редакцией И.Г. Лоскутова ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2007. 39, [1] с. : табл.

146. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 798. Озимый ячмень в условиях Южного Дагестана / составители: Б.А. Баташева, И.А. Терентьева, И.А. Звейнек, А.А. Альдеров, У.К. Куркиев, Г.М. Богданова ; под редакцией И.Г. Лоскутова ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2010. 64, [2] с. : табл.

147. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 800. Информация об экспедициях, проведенных в 1991–2009 г. / составители: Т.М. Озерская, О.А. Лисовская ; Н.И. Дзюбенко ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2010. 49, [1] с. : табл.

148. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 801. Ячмень и овес : Характеристика образцов по фотопериодической чувствительности / составители: В.А. Кошкин, И.Г. Лоскутов, И.И. Матвиенко, Л.О. Смирнова, И.А. Звейнек, Е.В. Блинова, О.Н. Ковалева, И.А. Терентьева ; под редакцией: И.Г. Лоскутова, И.А. Косаревой ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2010. 35, [1] с. : табл.
149. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 805. Озимая рожь : (Местные сорта России, Беларуси и СНГ) / составители: В.Д. Кобылянский, Н.С. Лапиков, Н.О. Белугина, И.В. Сафонова, В.И. Хорева, Л.В. Аникина, И.В. Лискова ; под редакцией В.Д. Кобылянского ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2011. 53, [1] с.
150. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 808. Овес : (Характеристика устойчивости образцов овса к фузариозу) / составители: Т.Ю. Гагкаева, О.П. Гаврилова, И.Г. Лоскутов, Е.В. Блинова, Л.В. Аникина ; под редакцией И.Г. Лоскутова ; рецензенты: Е.Е. Радченко, О.А. Ляпунова ; РАСХН, Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2012. 62 с. : табл., ил.
151. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 820. Ячмень : Исходный материал для селекции ярового ячменя в условиях Европейского Севера РФ / составители: О.Б. Батакова, О.Н. Ковалева, В.И. Хорева ; под редакцией И.Г. Лоскутова ; рецензент Е.Е. Радченко ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2015. 54, [2] с. : табл.
152. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 824. Ячмень : Характеристика образцов ячменя по устойчивости к токсичным ионам алюминия ($H^+ + Al^{3+}$) / составители: О.В. Яковлева, О.Н. Ковалева ; под редакцией Е.Е. Радченко ; рецензент И.Г. Лоскутов ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2015. 21, [1] с. : табл.
153. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 832. Дикie 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.
154. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 836. Ячмень : (Устойчивость образцов из стран Азии к вредным организмам) / составители: Е.Е. Радченко, Г.С. Коновалова, И.А. Звейнек, Т.Л. Кузнецова, М.А. Чумаков, О.Н. Ковалева ; под редакцией Е.Е. Радченко ; рецензент И.Г. Лоскутов ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2016. 22, [2] с. : табл.
155. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 844. Озимая рожь : (доноры и источники ценных признаков озимой ржи применительно к задачам селекции) / В.Д. Кобылянский, Н.И. Анисков, И.В. Сафонова, В.И. Хорева, О.В. Солодухина ; под редакцией В.Д. Кобылянского ; рецензент Э.Б. Хатевов ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2017. 37, [1] с. : табл.
156. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 845. Ячмень : Устойчивость образцов ячменя из Дагестана к вредным организмам и абиотическим стрессорам / Р.А. Абдуллаев, Б.А. Баташева, Е.Е. Радченко, О.В. Яковлева, Г.С. Коновалова, И.А. Косарева, А.В. Анисимова, А.П. Хохлова, О.Н. Ковалева ; под редакцией Е.Е. Радченко ; рецензент И.Г. Лоскутов ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2017. 39, [1] с. : табл.
157. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 846. Ячмень : Агробиологическая характеристика образцов ячменя из Дагестана / Р.А. Абдуллаев, Б.А. Баташева, Е.Е. Радченко, И.А. Звейнек, Н.В. Алпатьева, О.Н. Ковалева ; под редакцией Е.Е. Радченко ; рецензент И.Г. Лоскутов ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2017. 53, [1] с. : табл., ил.
158. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 851. Ячмень : Агробиологическая характеристика образцов ячменя и результаты молекулярного тестирования аллелей генов фотопериодической реакции *Ppd* и генов яровизации *VRN* / О.Н. Ковалева, Н.Н. Иванова, В.И. Хорева, С.Б. Теплякова, Е.К. Потоккина ; под редакцией И.Г. Лоскутова ; рецензент Е.Е. Радченко ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2017. 35, [1] с. : табл.
159. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 854. Овес : Геометрическая характеристика зерна голозерных сортов овса в зоне Северного Зауралья / Ю.С. Иванова, И.Г. Лоскутов, М.Н. Фомина, Е.В. Блинова ; под редакцией И.Г. Лоскутова ; рецензент Е.В. Зуев ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал ТюмНЦ СО РАН. Санкт-Петербург : ВИР, 2018. 35, [1] с. : табл.
160. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 867. Ячмень : Идентификация генов типа развития и слабой чувствительности к фотопериоду у ячменя / И.А. Звейнек, Е.Е. Радченко ; под редакцией Е.Е. Радченко ; рецензент Е.В. Зуев ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2018. 65, [1] с. : табл.
161. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 876. Овес : Биохимическая характеристика образцов / В.И. Хорева, Т.В. Шеленга, Е.В. Блинова, А.В. Конарев, И.Г. Лоскутов ; под редакцией А.В. Конарева, И.Г. Лоскутова ; рецензент Е.Е. Радченко ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2018. 55, [1] с. : табл.
162. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 879. Ячмень : Агробиологическая характеристика образцов ярового ячменя в ЦПР (Тамбовская область) (2001–2016 гг.) / Г.В. Бельская, О.Н. Ковалева, Н.Н. Иванова ; под редакцией И.Г. Лоскутова ; рецензент Е.Е. Радченко ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2018. 42, [2] с. : табл.
163. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 897. Овес : Агробиологическая характеристика образцов в условиях Дагестанского филиала ВИР / Э.Т. Ахадова, Б.А. Баташева, Е.В. Блинова, И.Г. Лоскутов ; под редакцией И.Г. Лоскутова ; рецензент Е.В. Зуев ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 35, [1] с. : табл.
164. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 901. Дикie родичи культурных растений России. Северо-Кавказский федеральный округ. Карачаево-Черкесская Республика / Л.С. Багмет ; под научной редакцией Д.С. Шильникова ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 59, [1] с. : табл., цв. ил.
165. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 906. Ячмень : Аллельное разнообразие генов полукарликовости коллекции местных сортов ячменя ВИР / А. Демуво, Е.А. Григорьева, И.В. Александрова, О.Н. Ковалева, Н.Н. Иванова ; под редакцией: Е.К. Потоккиной, И.Г. Лоскутова ; рецензент Е.Е. Радченко ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2019. 31, [1] с. : табл.
166. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 922. Овес : Агробиологическая характеристика образцов в условиях Екатеринбургской опытной станции ВИР (2001–2011 гг.) / Г.В. Бельская, Е.В. Блинова, А.А. Гнутиков, И.Г. Лоскутов ; под редакцией И.Г. Лоску-

това ; рецензент Е.Е. Радченко ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2020. 67, [1] с. : табл.

167. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 934. Овес : Характеристика образцов по устойчивости к алюмотоксичности кислых почв / И.А. Косарева, Е.В. Блинова, И.Г. Лоскутов ; под редакцией И.Г. Лоскутова ; рецензенты: Е.Е. Радченко, О.Н. Ковалева ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2021. 43, [1] с. : табл.

168. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 935. Овес : Агробиологическая характеристика образцов в условиях Краснодарского края / Н.П. Войцуцкая, Е.В. Блинова, И.Г. Лоскутов ; под редакцией И.Г. Лоскутова ; рецензенты: Е.В. Зуев, О.Н. Ковалева ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2021. 101, [1] с. : табл.

Список составлен сотрудниками библиотечно-издательского отдела ВИР

**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*
Корректора: *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 30.03.2023. Формат 70×100¹/₈.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ. л. 33,25. Тираж 300 экз. Заказ № 379/1.

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

000 «Р-КОПИ»
190000, Санкт-Петербург, пер. Гривцова, д. 6, литер Б

