

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

**ТРУДЫ
ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ,
ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ, том 182
выпуск 4**

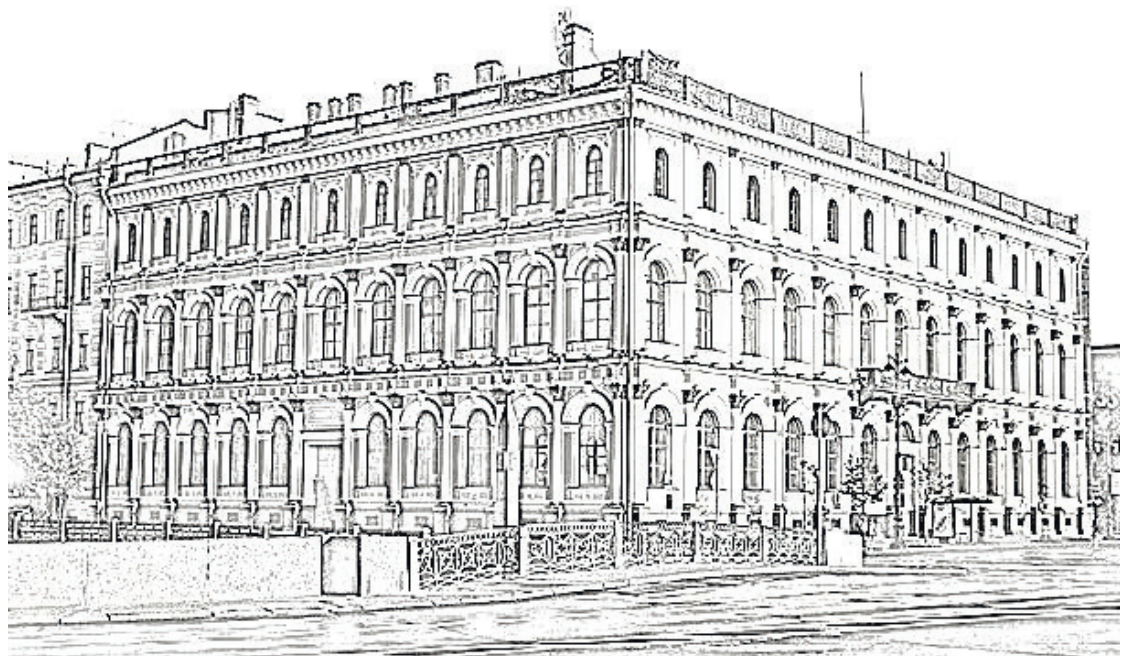
(основаны Р. Э. Регелем в 1908 г.)

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021**

**PROCEEDINGS
ON APPLIED BOTANY, GENETICS
AND BREEDING, vol. 182
issue 4**

(founded by Robert Regel in 1908)

**ST. PETERSBURG
2021**



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)

**PROCEEDINGS ON APPLIED BOTANY,
GENETICS AND BREEDING**

volume 182
issue 4



EDITOR-IN-CHIEF
E. K. Khlestkina

EDITORIAL BOARD

M. A. Vishnyakova (Deputy Editor-in-Chief), I. G. Loskutov (Deputy Editor-in-Chief), O. P. Mitrofanova (Deputy Editor-in-Chief), L. Yu. Schipilina (Executive Secretary), I. N. Anisimova, N. B. Brutch, I. G. Chukhina, O. B. Dobrovolskaya, V. I. Dorofeev, G. I. Filipenko, T. A. Gavrilenko, K. S. Golokhvast, V. M. Gorina, E. B. Hatefov, V. N. Korzun, T. V. Matveeva, S. S. Medvedev, N. V. Mironenko, I. V. Mitrofanova, E. E. Radchenko, I. D. Rashal, A. V. Rodionov, M. M. Silantyeva, O. V. Soloduhina, E. K. Turuspekov, Yu. V. Ukhatova, N. M. Zoteeva

EDITORIAL COUNCIL

O. S. Afanasenko, G. A. Batalova, A. Berville, L. A. Bespalova, A. Börner, A. Diederichsen, M. V. Duka, G. V. Eremin, N. Friesen, N. P. Goncharov, K. Hammer, V. Holubec, A. V. Kilchevsky, M. M. Levitin, A. I. Morgunov, H. A. Muminjanov, I. A. Tikhonovich

Editor in charge of this issue: *E. K. Khlestkina, E. A. Sokolova*
translator: *A. G. Krylov*

ST. PETERSBURG

2021

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

**ТРУДЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ,
ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ**

**том 182
выпуск 4**



ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Е. К. Хлесткина

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

*М. А. Вишнякова (зам. главного редактора), И. Г. Лоскутов (зам. главного редактора),
О. П. Митрофанова (зам. главного редактора), Л. Ю. Шипилина (ответственный секретарь),
И. Н. Анисимова, Н. Б. Брач, Т. А. Гавриленко, К. С. Голохваст, В. М. Горина, О. Б. Добровольская,
В. И. Дорофеев, Н. М. Зотеева, В. Н. Корзун, Т. В. Матвеева, С. С. Медведев, Н. В. Мироненко,
И. В. Митрофанова, Е. Е. Радченко, И. Д. Рашаль, А. В. Родионов, М. М. Силантьева,
О. В. Солодухина, Е. К. Туруспекоев, Ю. В. Ухатова, Г. И. Филипенко, Э. Б. Хатефов, И. Г. Чухина*

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

*О. С. Афанасенко, Г. А. Баталова, А. Бервилле, А. Бёрнер, Л. А. Беспалова, В. Голубец,
Н. П. Гончаров, А. Дидериксен, М. В. Дука, Г. В. Еремин, А. В. Кильчевский, М. М. Левитин,
А. И. Моргунов, Х. А. Муминджанов, И. А. Тихонович, Н. В. Фризен, К. Хаммер*

Ответственные редакторы выпуска: *Е. К. Хлесткина, Е. А. Соколова*
переводчик: *А. Г. Крылов*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2021

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

ТРУДЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ, ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ. Т. 182, вып. 4. СПб., 2021. 172 с.

Дана оценка засухоустойчивости ЦМС-линий сорго на основе различных источников стерильности. Изучены: коллекционные образцы голозерного овса различных эколого-географических групп в условиях Кировской области; хозяйственно ценные признаки новых образцов проса коллекции ВИР в условиях Екатеринбургской опытной станции ВИР; сорта гречихи Беларуси и Украины в условиях Ленинградской области. Определена стабильность агрономически ценных признаков у клонов межвидовых гибридов картофеля в условиях Центрального региона европейской территории России. Обсуждается исходный материал для гибридной селекции кукурузы на многопочатковость из коллекции ВИР. Выявлены взаимосвязи хозяйственно ценных признаков вигны и дифференциации сортов по овощному и зерновому направлениям использования с помощью многомерного анализа. Охарактеризована репродуктивная способность сортов черной смородины после криоконсервирования пыльцы в жидком азоте. Рассмотрена экологическая пластичность, стабильность и адаптивность сортов крыжовника челябинской селекции. Проанализирована устойчивость к вредным организмам современных сортов ячменя. Исследованы: аккумуляция кадмия и цинка регенерантами ячменя на провокационном почвенном фоне с кадмием; алюмоустойчивость пивоваренного ячменя. Рассмотрена селекционная ценность потомства сорта яблони 'Папировка тетраплоидная' в условиях Среднего Урала. Флористические новинки Армении рассмотрены в контексте междисциплинарных исследований. Созданы номенклатурные стандарты сортов яблони селекции Свердловской селекционной станции садоводства. Обсуждаются биологические особенности и возделывание кунжута и особенности регенерации сои в культуре *in vitro*. Представлен жизненный путь и научная деятельность исследователя конопли Т. Я. Серебряковой.

Табл. 53, рис. 41, библиогр. 431 назв.

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

PROCEEDINGS ON APPLIED BOTANY, GENETICS AND BREEDING. Vol. 182, iss. 4. SPb., 2021. 172 p.

Drought resistance has been assessed in sorghum CMS lines on the basis of various sterility sources. Naked oat accessions from different ecogeographic groups have been studied under the conditions of Kirov Province. Agronomic characters have been analyzed in new millet accessions from VIR at Yekaterinino Experiment Station of VIR. Buckwheat cultivars from Belarus and Ukraine are described for their adaptability to the environments of Leningrad Province. Stability of agronomic traits has been assessed in interspecific hybrid potato clones in the Central Region of European Russia. Source material from the VIR collection for hybrid breeding of multiple-ear maize is discussed. Multivariate analysis has been applied to identify relationships among useful agronomic characters of cowpea and differentiation of cultivars for vegetable and grain uses. Reproductive ability of black currant cultivars has been examined after cryopreservation of their pollen in liquid nitrogen. Gooseberry cultivars developed in Chelyabinsk Province have been studied to evaluate their environmental plasticity, stability and adaptability. Modern spring barley cultivars have been analyzed for their resistance to harmful organisms. Research results are presented on cadmium and zinc accumulation in barley regenerants on a provocative soil background with cadmium, and on aluminum resistance of malting barley. The progeny of the apple cultivar 'Papirova tetraploidnaya' has been evaluated for its breeding prospects in the Middle Urals. Floristic novelties discovered in Armenia are scrutinized in the context of interdisciplinary studies. Nomenclatural standards have been developed for apple cultivars released by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Biological features and cultivation of sesame are reviewed, and *in vitro* regeneration of soybean is discussed. Details of the life and scientific activities of Tatyana Serebryakova, a hemp expert, are presented.

Tabl. 53, fig. 41, ref. 431.

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

CONTENTS

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Kibalnik O.P., Larina T.V., Kameneva O.B., Semin D.S.
Assessment of drought resistance in sorghum CMS lines based on various sterility sources 9

Krotova N.V., Batalova G.A.
Studying germplasm collection accessions of naked oats..... 18

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

Boyko V.N., Khatefov E.B.
Source material from the VIR collection for hybrid breeding of multiple-ear maize..... 27

Burlyayeva M.O., Gurkina M.V., Miroshnichenko E.V.
Application of multivariate analysis to identify relationships among useful agronomic characters of cowpea and differentiation of cultivars for vegetable and grain uses 36

Kulemina T.V.
Studying agronomic characters in new millet accessions from the VIR collection at Yekaterinino Experiment Station of VIR..... 48

Romanova O.I.
Description of buckwheat cultivars from Belarus and Ukraine in the environments of Leningrad Province..... 61

Tikhonova O.A., Radchenko E.A., Pavlov A.V.
Reproductive ability of black currant cultivars after pollen cryopreservation in liquid nitrogen..... 71

Khlopyuk M.S., Chalaya N.A., Rogozina E.V.
Stability of agronomic traits in interspecific hybrid potato clones in the Central Region of European Russia 79

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

Stepanyan-Gandilyan N.P., Hovsepyan R.A.
Floristic novelties in the context of interdisciplinary studies 90

Shlyavas A.V., Telezhinskiy D.D., Bagmet L.V.
Nomenclatural standards of apple cultivars developed at Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Part I 102

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Semenova A.G., Anisimova A.V., Kovaleva O.N.
Resistance of modern spring barley cultivars to harmful organisms 108

Shupletsova O.N., Tovstik E.V.
Accumulation of cadmium and zinc in barley regenerants on a provocative soil background with cadmium..... 117

Yakovleva O.V.
Aluminum resistance of malting barley 126

BRIEF REPORTS

- Vasiliev A.A., Gasymov F.M., Glaz N.V.**
Environmental assessment of gooseberry cultivars developed in Chelyabinsk Province132
- Korshikova E.S., Ershova K.M., Moksheninova Yu.A., Ukhatova Yu.V.**
Efficiency of *in vitro* culture techniques applied to soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) accessions from the VIR collection.....137
- Telezhinskiy D.D., Kotov L.A.**
Breeding-oriented evaluation of the progeny of cv. 'Papirovka tetraploidnaya' in the Middle Urals143

SURVEYS

- Bespalova E.S., Ershova K.M., Ukhatova Yu.V.**
In vitro regeneration of soybean (a review)148
- Kishlyan N.V., Asfandiyarova M.Sh., Yakusheva T.V., Dubovskaya A.G.**
Biological features and cultivation of sesame (a review)156

HISTORY OF AGROBIOLOGICAL RESEARCH AND VIR. NAMES OF RENOWN

- McPartland J.M.**
Tatiana Yakovlevna Serebryakova: a forgotten hemp expert.....166

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Кибальник О.П., Ларина Т.В., Каменева О.Б., Семин Д.С. Оценка засухоустойчивости ЦМС-линий сорго на основе различных источников стерильности	9
Кротова Н.В., Баталова Г.А. Изучение коллекционных образцов голозерного овса.....	18

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Бойко В.Н., Хатефов Э.Б. Исходный материал для гибридной селекции кукурузы на многопочатковость из коллекции ВИР	27
Бурляева М.О., Гуркина М.В., Мирошниченко Е.В. Применение многомерного анализа для выявления взаимосвязей хозяйственно ценных признаков вигны и дифференциации сортов по овощному и зерновому направлениям использования	36
Кулемина Т.В. Изучение хозяйственно ценных признаков новых образцов проса коллекции ВИР в условиях Екатерининской опытной станции ВИР	48
Романова О.И. Характеристика сортов гречихи Беларуси и Украины в условиях Ленинградской области.....	61
Тихонова О.А., Радченко Е.А., Павлов А.В. Репродуктивная способность сортов черной смородины после криоконсервирования пыльцы в жидком азоте.....	71
Хлопюк М.С., Чалая Н.А., Рогозина Е.В. Стабильность агрономически ценных признаков у клонов межвидовых гибридов картофеля в условиях Центрального региона европейской территории России	79

СИСТЕМАТИКА, ФИЛОГЕНИЯ И ГЕОГРАФИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Степанян-Гандилян Н.П., Овсепян Р.А. Флористические новинки в контексте междисциплинарных исследований.....	90
Шлявас А.В., Тележинский Д.Д., Багмет Л.В. Номенклатурные стандарты сортов яблони селекции Свердловской селекционной станции садоводства. Часть 1	102

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Семенова А.Г., Анисимова А.В., Ковалева О.Н. Устойчивость к вредным организмам современных сортов ячменя	108
Шуплецова О.Н., Товстик Е.В. Аккумуляция кадмия и цинка регенерантами ячменя на провокационном почвенном фоне с кадмием	117
Яковлева О.В. Алюмоустойчивость пивоваренного ячменя.....	126

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Васильев А.А., Гасымов Ф.М., Глаз Н.В. Экологическая оценка сортов крыжовника челябинской селекции	132
Коршикова Е.С., Ершова К.М., Мокшенинова Ю.А., Ухатова Ю.В. Оценка эффективности введения образцов сои (<i>Glycine max</i> (L.) Merr.) из коллекции ВИР в культуру <i>in vitro</i>	137
Тележинский Д.Д., Котов Л.А. Селекционная оценка потомства 'Папировки тетраплоидной' в условиях Среднего Урала.....	143

ОБЗОРЫ

Беспалова Е.С., Ершова К.М., Ухатова Ю.В. Регенерация сои в культуре <i>in vitro</i> (обзор).....	148
Кишлян Н.В., Асфандиярова М.Ш., Якушева Т.В., Дубовская А.Г. Биологические особенности и возделывание кунжута (обзор)	156

ИСТОРИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВИР. СЛАВНЫЕ ИМЕНА

Мак-Партланд Дж.М. Татьяна Яковлевна Серебрякова: забытый знаток конопли	166
--	-----

Оценка засухоустойчивости ЦМС-линий сорго на основе различных источников стерильности

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-9-17
УДК 633.174:58.032.3[631.527/56+575.133]



Поступление/Received: 17.11.2020
Принято/Accepted: 26.05.2021

О. П. КИБАЛЬНИК*, Т. В. ЛАРИНА, О. Б. КАМЕНЕВА,
Д. С. СЕМИН

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, 410050 Россия, г. Саратов, 1-й Институтский пр-д, 4
* [✉ kibalnik79@yandex.ru](mailto:kibalnik79@yandex.ru)

Assessment of drought resistance in sorghum CMS lines based on various sterility sources

O. P. KIBALNIK*, T. V. LARINA, O. B. KAMENEVA,
D. S. SEMIN

Russian Research and Design Technological Institute of Sorghum and Maize, 4 1st Institutsky Drive, Saratov 410050, Russia
* [✉ kibalnik79@yandex.ru](mailto:kibalnik79@yandex.ru)

Актуальность. Глобальные изменения климата в последнее время приводят к более частому проявлению неблагоприятных факторов и снижению продуктивности основных сельскохозяйственных культур. Сорго – высокоустойчивая к засухе культура, способная переносить длительные почвенные и воздушные засухи с наименьшей потерей урожая по сравнению с пшеницей и ячменем. В селекции на повышение адаптивности к абиотическим условиям и продуктивность гибридов понимание физиологических механизмов, влияющих на засухоустойчивость, имеет большое значение.

Материалы и методы. Двадцать стерильных линий зернового сорго с восьмью типами ЦМС изучались в 2019 и 2020 г. в засушливых условиях Саратовской области. Оценка показателей водного режима листьев проводили согласно методическим указаниям ВИР. Статистическая обработка результатов исследований выполнена с помощью программы AGROS 2.09.

Результаты. Изучены показатели водного режима листьев, отражающие дифференцированную реакцию растений ЦМС-линий на сложившиеся водные и температурные стрессовые условия в критический для сорго период цветения. По комплексу показателей выделились четыре ЦМС-линии, характеризующиеся 71,13–72,02% общей оводненности, 5,26–9,08% водного дефицита, 57,40–83,17% водоудерживающей способности в среднем за два года исследований. Впервые установлено влияние ЦМС у сорго на проявление показателей водного режима. У изоядерных ЦМС-линий наибольшее влияние на засухоустойчивость показала цитоплазма А3 в сравнении с А4 (с геномом Желтозерное 10), цитоплазма А5 в сравнении с А1 (с геномом Карлик 4в), М35-1А в сравнении с аналогом на цитоплазме 9Е (с геномом Пищевое 614).

Заключение. Показана возможность использования генетически различных типов стерильности в практической селекции на повышение устойчивости к абиотическим факторам компонентов скрещиваний и гибридов F₁.

Ключевые слова: стерильные линии, типы ЦМС, влияние цитоплазмы, стрессоустойчивость, водный режим листьев.

Background. Global climate changes have recently led to a more frequent occurrence of adverse factors and a decrease in the productivity of major crops. Sorghum is a highly drought-resistant crop that can tolerate long-term soil and air droughts with much lower harvest losses than wheat or barley. It is important to understand physiological mechanisms affecting drought tolerance when breeding efforts are aimed at improving the adaptability to abiotic conditions and productivity of sorghum hybrids.

Materials and methods. Twenty sterile lines of grain sorghum with 8 types of CMS were studied in 2019 and 2020 in the arid conditions of Saratov Province. Indicators of the leaf water regime were assessed according to VIR's guidelines. Statistical processing of the research results was performed using the AGROS 2.09 software.

Results. The indicators of the leaf water regime that reflected differentiated responses of the CMS-line plants to the prevailing water and temperature stressors during the critical flowering period for sorghum were analyzed. Four CMS lines were identified according to the chosen set of indicators: they manifested 71.13–72.02% of total water content, 5.26–9.08% of water deficit, and 57.40–83.17% of water retention capacity on average for the two years of research. For the first time, the effect of CMS in sorghum on the manifestation of water regime indicators was registered. In isonuclear CMS lines, the greatest effect on drought resistance was shown by cytoplasm A3 versus A4 (with the Zheltozernoe 10 genome), cytoplasm A5 versus A1 (with the Karlik 4v genome), and M35-1A versus the analog on cytoplasm 9E (with the Pischevoe 614 genome).

Conclusion. It is shown that genetically different types of sterility can be used in breeding practice to increase the resistance to abiotic stressors in components of F₁ crosses and hybrids.

Key words: sterile CMS lines, CMS types, effect of cytoplasm, drought resistance, leaf water regime.

Введение

В селекции сельскохозяйственных культур изучение устойчивости растений к воздействию различных абиотических стрессоров особенно актуально в настоящее время в связи с глобальными изменениями климата. Частая повторяемость засух и суховеев, недостаточное выпадение осадков, изменение температуры воздуха и многие другие показатели препятствуют устойчивому развитию растениеводства. Учитывая изменения климатических условий в мире, необходимо расширять ассортимент засухоустойчивых и пластичных культур, к которым относится сорго. Родиной сорго считаются тропические и субтропические страны Африки, юга Азии, Центральной Америки (Reddy, Patil, 2015). Очевидно, повышенная стрессоустойчивость растений сформировалась еще в результате эволюционного процесса под действием высоких температур и недостаточной увлажненности, характерных для территории происхождения культуры. Адаптация сорго к засухе – результат модификаций на морфологическом, анатомическом, физиологическом и молекулярном уровнях (Badigannavar et al., 2018). При выведении высокопродуктивных, устойчивых к абиотическим условиям конкретной микрзоны сортов и гибридов понимание генетических, физиологических и экологических факторов, влияющих на засухоустойчивость, имеет большое значение (Sanchez et al., 2002; Fagoog et al., 2009). Известно, что реакция разных генотипов сорго на различные стрессоры неодинакова, так как контролируется различными генетическими механизмами (Amelework et al., 2015). Так, адаптированные к засушливым и полузасушливым условиям выращивания сорта отличаются большей засухоустойчивостью в сравнении с сортами, возделываемыми в более влажных условиях (Blum, Sullivan, 1986; Abraha et al., 2015).

Ограничение использования генетических источников у сорго, обладающих морфологическими и физиологическими признаками, отражающими засухоустойчивость, уменьшает результативность селекционной работы (Emendack et al., 2018). Поэтому важно использовать генетически разнообразный исходный материал. В частности, при создании гибридов F_1 в скрещивании вовлекаются ЦМС-линии с разными типами стерильных цитоплазм (Kibalnik, Elkonin, 2009). Известно, что устойчивость растений к абиотическим факторам во многом зависит от скоординированного взаимодействия ядерных геномов и цитоплазмы (Chaves et al., 2009; Terletskaia et al., 2020). В литературе имеются сведения о том, что тип стерильной цитоплазмы оказывает влияние на стрессоустойчивость изоядерных ЦМС-линий у ряда сельскохозяйственных культур (кукурузы, ржи, африканского проса, подсолнечника) (Frankovskaya et al., 1995; Chandra-Shekara et al., 2007; Torop et al., 2014; Tyagi et al., 2018). Однако сведения по данному направлению фрагментарны и изучены недостаточно полно. При включении исходного материала в практическую селекцию оценка адаптивных свойств материнских форм (особенно изоядерных ЦМС-линий) сорго к засушливым условиям приобретает исключительное значение.

Вместе с тем устойчивость растений к абиотическим стрессорам обусловлена поддержанием водного баланса в клетках и тканях. Наступление засухи в начальный период развития растений приводит к снижению темпов роста и развития сорго, а во время цветения способствует частичной или полной потере урожайности зерна (Phuong et al., 2014; Amelework et al., 2015).

Целью исследований являлась комплексная оценка засухоустойчивости ЦМС-линий и определение влияния типа стерильной цитоплазмы на параметры водного режима листьев растений зернового сорго.

Материалы и методы

Полевые и лабораторные исследования проводились в 2019 и 2020 г. в засушливых условиях Саратовской области. Объектами исследований являлись 20 стерильных линий зернового сорго с разными типами ЦМС (А1, А2, А3, А4, А5, А6, 9Е, М35-1А), высевавшихся на опытном поле Российского научно-исследовательского и проектно-технологического института сорго и кукурузы во II-III декадах мая. Площадь делянки – 7,7 м². Повторность опыта трехкратная. Густоту стояния растений (100 тыс. шт./га) устанавливали вручную. Оценка показателей водного режима листьев проводили согласно методическим указаниям ВИР (Udovenko, 1988). У каждой линии брали наибольший лист с 4-5 растений в двух повторениях в фазе «цветение».

Для определения оводненности тканей (ОТ) листья высушивали в термостате при температуре 105°C до постоянной массы. Количество воды в процентах от сырой массы навески определяли по формуле:

$$ОТ = ((a - b) / a) \times 100,$$

где: а – масса сырой навески (г); б – масса сухой навески (г).

Потерю воды (ПВ) листьями в процентах определяли через 0,5; 1,0; 1,5 и 24 часа путем взвешивания листьев в лаборатории на электронных весах, после чего проводился расчет показателя по формуле:

$$ПВ = (B / A) \times 100,$$

где: А – содержание воды в листьях до начала опыта (г); В – потеря воды за определенный промежуток времени (г).

Для определения водного дефицита (ВД) листья помещали в сосуд с водой и накрывали. После 24-часового насыщения листья промокали фильтровальной бумагой и взвешивали. Использовалась формула:

$$ВД = (M_2 - M_1) \times 100 / (M_2 - M_3),$$

где: M_1 – масса листьев до насыщения водой (г); M_2 – масса листьев после 24-часового насыщения (г); M_3 – масса сухой навески (г).

Оценку степени засухоустойчивости линий давали согласно классификации, представленной в таблице 1.

Одним из лимитирующих факторов развития сельскохозяйственных культур в регионе являются температура и влажность воздуха. Для этого проанализированы особенности гидротермического режима выращивания материнских форм за 10 дней до цветения. Известно, что у сорго показатели водного режима изменяются в зависимости от фазы развития растений и от времени суток. Например, максимум оводненности приходится на утренние часы, а минимум – на обеденные. Поэтому в исследованиях определение параметров водного режима проводили в обеденные часы, когда температура воздуха была наиболее высокой.

Годы выращивания материнских форм сорго существенно различались в период цветения по погодным

Таблица 1. Шкала оценки параметров водного режима листьев для определения относительной засухоустойчивости (по: Kochubey, Zaremuk, 2020)**Table 1.** The scale for assessing the leaf water regime parameters to determine relative drought resistance (from Kochubey, Zaremuk, 2020)

Оценка засухоустойчивости	Оводненность листьев, %	Водный дефицит, %	Потеря воды листьями после увядания, %	Средняя потеря воды за 1 ч увядания, %
Низкая	59,5 и менее	20,1 и более	50,1 и более	11,1 и более
Средняя	60,0–69,9	10,1–20,0	30,1–50,0	10,1–11,0
Высокая	70,0 и более	до 10,0	до 30,0	до 10,0

условиям. Так, в 2019 г. сумма активных температур воздуха составила 260,5–296,3°C, количество осадков – 5,4–31,9 мм, а дефицит влажности воздуха – 9,9–16,1% (табл. 2). В условиях 2020 г. осадков в критический для сорго период практически не выпадало, сумма активных температур воздуха увеличилась на 18,9–57,2°C, дефицит влажности воздуха – на 5,0–6,5%. Цветение растений проходило в условиях жесточайшей засухи, о чем свидетельствует низкий гидротермический коэффициент (ГТК).

Статистическая обработка результатов исследования выполнена методами статистического анализа выборки и дисперсионного однофакторного анализа с помощью программы AGROS 2.09 (Martynov, 1999).

Результаты

Сложившиеся погодные условия в годы изучения отразились на показателях водного режима ЦМС-линий. В среднем по коллекции более высокая засухоустойчивость по уровню водного потенциала и оводненности установлена в 2019 г.: их значения составили 8,54 и 71,04% соответственно. Расчеты средней потери воды за 1 ч увядания в сутки в каждый из сезонов выращивания существенно не изменились – 2,81–2,88%, что свидетельствует об адаптивных свойствах растений к изменяющимся метеорологическим условиям (табл. 3). При этом слабая изменчивость признаков отмечена по показателям оводненности, водоудерживающей способности и потери воды за 1 час увядания в сутки. Коэффициент вариации составил 3,5–9,6%.

Среди изученных материнских форм выделены линии, которые характеризовались высокой оводненностью тканей листьев в течение двух лет – А2 КВВ 181, А2 Кремовое, А3 Фетерита 14, ЦМС-линии с геномом Карлик 4в на цитоплазмах А1, А2, А3, А5 (70,32–75,62%). Средняя засухоустойчивость по этому признаку стабильно проявлялась у А1 Ефремовское 2 (68,43–70,36%), А2 Судзерн (66,56–68,72%), 9Е Пищевое 614 (66,71–67,66%), ЦМС-линий с геномом Желтозерное 10 на цитоплазмах А3, А4, 9Е (63,16–69,53%).

Водный дефицит является характеристикой степени недонасыщенности водой растительных клеток, возникающей в результате увеличения расхода на транспирацию над поступлением ее из почвы (Лопова, 2011). Степень водного дефицита в листьях также является одним из показателей засухоустойчивости. В результате исследований выявлены линии с невысоким водным дефицитом, свидетельствующим о высокой засухоустойчивости – А2 Тамара, А2 КВВ 181, А2 Кремовое, А3 Желтозерное 10, А2 КВВ 114 (6,69–10,00%). Следует отметить, что некоторые линии (А1 О-Янг 1, А2 Судзерн, А2 Восторг,

А3 Фетерита 14, 9Е Желтозерное 10 и ЦМС-линии с геномом Карлик 4в на цитоплазмах А1, А2, А3, А5) показали значительную чувствительность к метеорологическим условиям в период «цветение»: значения водного дефицита варьировали от 4,13 до 17,87%. В условиях высокой напряженности климатических факторов водный дефицит увеличился в 1,3–3,3 раза. Материнские формы 9Е Пищевое 614, А4 Желтозерное 10 и А1 Ефремовское 2 характеризовались средними значениями водного дефицита (11,18–15,54%).

Листья более устойчивых к засухе растений теряют в процессе завядания воды меньше, чем листья менее устойчивых. Изучение потери воды листьями зернового сорго в динамике показало, что наибольшее испарение наблюдается в первые 1–1,5 часа, а затем снижается (рисунок).

В среднем по ЦМС-линиям водоотдача составила 16,31–19,88% и 9,32–13,47% соответственно. В 2020 г. при значениях гидротермического коэффициента (ГТК) 0,01–0,03 испарение через каждые 30 минут увядания было ниже на 3,57–4,15%, чем в 2019 г., когда ГТК варьировал от 0,18 до 1,21. Выявлены линии с высокой водоудерживающей способностью (через 1,5 часа увядания) – А3 Желтозерное 10, А2 КВВ 114 и А1 Ефремовское 2 (71,01–87,71%).

Анализ изоядерных ЦМС-линий с одним и тем же геномом, но разными типами стерильных цитоплазм выявил различие между ними по особенностям водного режима листьев. У стерильных линий с геномом Желтозерное 10 установлено положительное влияние на засухоустойчивость цитоплазм А3 и 9Е в сравнении с А4. Существенные различия по показателям оводненности тканей и средней водоотдачи за 1 час увядания в сутки отмечены в 2019 г. при условиях достаточной влагообеспеченности для нормального цветения растений. При этом наименьшая средняя потеря воды за 1 час увядания в сутки оказалась у линии с цитоплазмой А4 (2,57%), а наибольшая оводненность – у линий с цитоплазмами А3 и 9Е (69,34–69,53%). Низкие показатели водного дефицита проявлялись у ЦМС-линии А3 Желтозерное 10 независимо от гидротермических условий сезона (7,31–9,99%).

У ЦМС-линий с геномом Карлик 4в на цитоплазмах А1, А2, А3, А5, А6 также наблюдались особенности водного режима в 2019 г. Наибольшая оводненность тканей и средняя потеря воды листьями выявлены у А5 Карлик 4в в сравнении с аналогом на цитоплазме А1. Наименьший водный дефицит отмечен у ЦМС-линий на цитоплазмах А2, А3 и А5 (5,06–5,93%) в отличие от А1 Карлик 4в (9,07%). В условиях недостаточной естественной увлажненности различия между изоядерными ЦМС-линиями оказывались незначимыми.

Таблица 2. Показатели погодных условий в период «10 дней до цветения» ЦМС-линий сорго (Саратов, 2019–2020 гг.)
 Table 2. Indicators of weather conditions in the period of 10 days before flowering for sorghum CMS lines (Saratov, 2019–2020)

ЦМС-линии	Дата цветения		Сумма температур воздуха, °С		Сумма осадков, мм		Гидротермический коэффициент		Дефицит влажности воздуха, %		Относительная влажность воздуха, %	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
A2 Тамара	12.07	20.07	263,8	316,6	18,3	0,0	0,69	0,00	14,3	17,5	48,1	49,3
A2 КВВ 181	13.07	16.07	260,5	343,7	18,3	0,9	0,70	0,02	13,1	21,4	50,7	46,2
A1 О-Янг 1	12.07	16.07	263,8	343,7	18,3	0,9	0,69	0,02	14,3	21,4	48,1	46,2
A2 Судзерн	10.07	16.07	274,7	343,7	10,4	0,9	0,38	0,02	14,9	21,4	46,9	46,2
A2 Кремовое	10.07	16.07	274,7	343,7	10,4	0,9	0,38	0,02	14,9	21,4	46,9	46,2
9Е Пищевое 614	12.07	15.07	263,8	353,5	18,3	0,9	0,69	0,03	14,3	22,6	48,1	46,1
M35-1А Пищевое 614	11.07	-	274,3	-	10,1	-	0,37	-	15,0	-	42,5	-
A3 Фегерита 14	13.07	20.07	260,5	316,6	18,3	0,0	0,70	0,00	13,1	17,5	50,7	49,3
A4 КП 70	12.07	-	263,8	-	18,3	-	0,69	-	14,3	-	48,1	-
A2 Восторг	15.07	15.07	261,4	353,5	19,0	0,9	0,73	0,03	12,1	22,6	55,7	46,1
A1 Карлик 4в	11.07	23.07	274,3	300,5	10,1	0,3	0,37	0,01	15,0	16,7	42,5	48,9
A2 Карлик 4в	11.07	23.07	274,3	300,5	10,1	0,3	0,37	0,01	15,0	16,7	42,5	48,9
A3 Карлик 4в	11.07	23.07	274,3	300,5	10,1	0,3	0,37	0,01	15,0	16,7	42,5	48,9
A5 Карлик 4в	11.07	23.07	274,3	300,5	10,1	0,3	0,37	0,01	15,0	16,7	42,5	48,9
A6 Карлик 4в	11.07	-	274,3	-	10,1	-	0,37	-	15,0	-	42,5	-
A3 Желтозерное 10	18.07	20.07	262,9	316,6	31,9	0,0	1,21	0,00	9,9	17,5	64,1	49,3
A4 Желтозерное 10	17.07	20.07	263,3	316,6	31,9	0,0	1,21	0,00	10,8	17,5	60,8	49,3
9Е Желтозерное 10	18.07	18.07	262,9	324,5	31,9	0,9	1,21	0,03	9,9	18,2	64,1	49,1
A2 КВВ 114	25.07	22.07	296,3	311,4	14,0	0,3	0,47	0,01	14,9	17,6	54,2	48,5
A1 Ефремовское 2	29.07	27.07	292,3	279,4	5,4	0,3	0,18	0,01	16,1	14,9	49,2	48,6

Таблица 3. Оценка засухоустойчивости ЦМС-линий сорго (Saratov, 2019–2020 гг.)
Table 3. Assessment of drought resistance in sorghum CMS lines (Saratov, 2019–2020)

ЦМС-линии	Оводненность листьев, %		Водный дефицит, %		Средняя потеря воды за 1 ч увядания в сутки, %		Водоудерживающая способность, %	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
A2 Тамара	74,01 m**	69,04bcd	9,70 g-j	8,02 abc	3,00 n	2,81 c-f	69,63 ghi	75,43 efg
A2 КВВ 181	73,25 i-m	70,50c-h	9,16 f-j	9,00 a-e	2,99 mn	2,90 f-i	74,72 jk	62,88 a
A1 О-Янг 1	71,46 fgh	68,19bcd	10,50 ij	8,14 a-d	2,91 g-j	2,83 def	64,50 ef	67,61 abc
A2 Судзёрн	66,56 ab	68,72bcd	11,15 jk	8,59 a-d	2,70 b	2,82 def	64,11 def	68,72 abc
A2 Восторг	71,41 fgh	67,10abc	7,13 b-g	10,45 a-f	2,88 gh	2,67 b-f	64,11 def	69,33 b-e
A2 Кремовое	70,46 def	71,79d-i	10,00 hij	6,69 a	2,86 fg	2,89 e-i	59,19 bc	72,67 cde
9Е Пищевое 614	67,66 b	66,71abc	11,18 jk	13,54 f-i	2,74 c	2,70 a-d	54,85 a	81,82 hij
M35 Пищевое 614	70,33 def	-	8,55 c-j	-	2,88 g	-	60,86 cd	-
A3 Феррита 14	73,35 j-m	74,56hi	4,13 a	12,56 e-h	3,00 n	3,01 ij	72,93 ij	64,96 ab
A4 КП 70	71,85 f-j	-	5,26 ab	-	2,93 ijk	-	57,40 ab	-
A3 Желтозерное 10	69,34 cd	66,99abc	7,31 b-g	9,99 a-f	2,80 de	2,72 a-d	71,01 hi	73,01 cde
A4 Желтозерное 10	65,08 a	63,16a	13,09 k	15,66 hij	2,57 a	2,57 a	67,76 fgh	72,76 cde
9Е Желтозерное 10	69,53 de	65,79ab	9,05 d-j	17,87 j	2,81 e	2,64 ab	67,42 fg	73,82 c-f
A1 Карлик 4в	71,19 e-h	75,62i	9,07 e-j	14,53 g-j	2,89 ghi	3,09 j	63,37 de	80,99 gh
A2 Карлик 4в	71,99 f-j	73,34e-i	5,93 abc	11,87 d-g	2,93 hij	2,99 hij	67,09 efg	75,28 d-g
A3 Карлик 4в	72,53 g-m	73,35f-i	5,06 ab	11,61 b-g	2,97 k-n	2,86 d-i	64,80 ef	70,53 b-e
A5 Карлик 4в	74,00 lm	73,53ghi	5,26 ab	17,13 ij	3,01 n	2,99 g-j	66,28 efg	79,32 fgh
A6 Карлик 4в	72,64 h-m	-	6,89 b-f	-	2,95 j-n	-	66,96 efg	-
A2 КВВ 114	73,72 klm	70,32c-g	6,82 b-f	7,21 a	2,99mn	2,71 a-d	78,63 l	87,71 j
A1 Ефремовское 2	70,36 def	68,43bcd	15,54 l	11,73c-g	2,72 bc	2,61 ab	77,42 kl	87,31 ij
Среднее и стандартная ошибка	71,04 ± 0,55	69,83 ± 0,84	8,54 ± 0,65	11,45 ± 0,83	2,88 ± 0,03	2,81 ± 0,04	66,65 ± 1,39	74,3 6 ± 1,73
Коэффициент вариации, %	3,47	4,95	34,07	29,89	4,18	5,46	9,36	9,61
F _{факт.}	22,36*	7,95*	13,36*	9,42*	59,88*	9,98*	31,94*	14,35*
НСР ₀₅	1,53	3,67	2,35	3,34	0,05	0,14	3,26	5,65

*P > 0,95; **Данные, отмеченные разными буквами, значимо различаются между собой в соответствии с тестом множественных сравнений Дункана
*P > 0,95; **Data followed by the same letter did not differ significantly according to Duncan Multiple Range Test

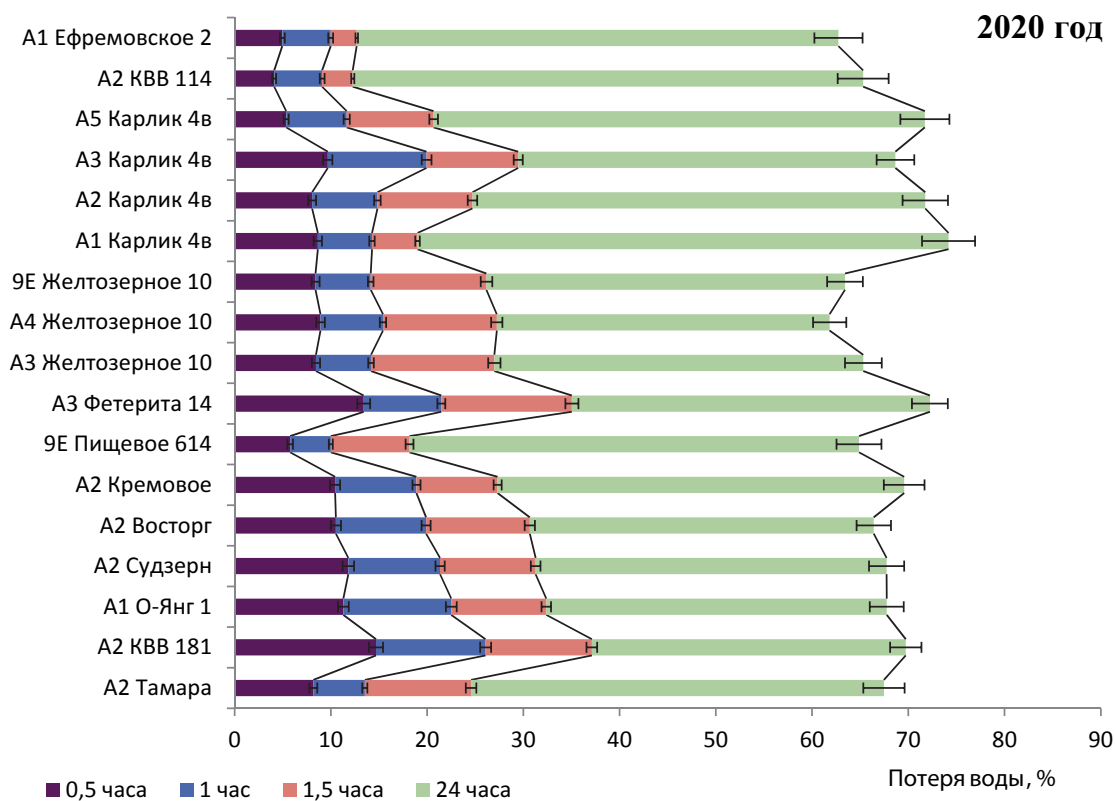
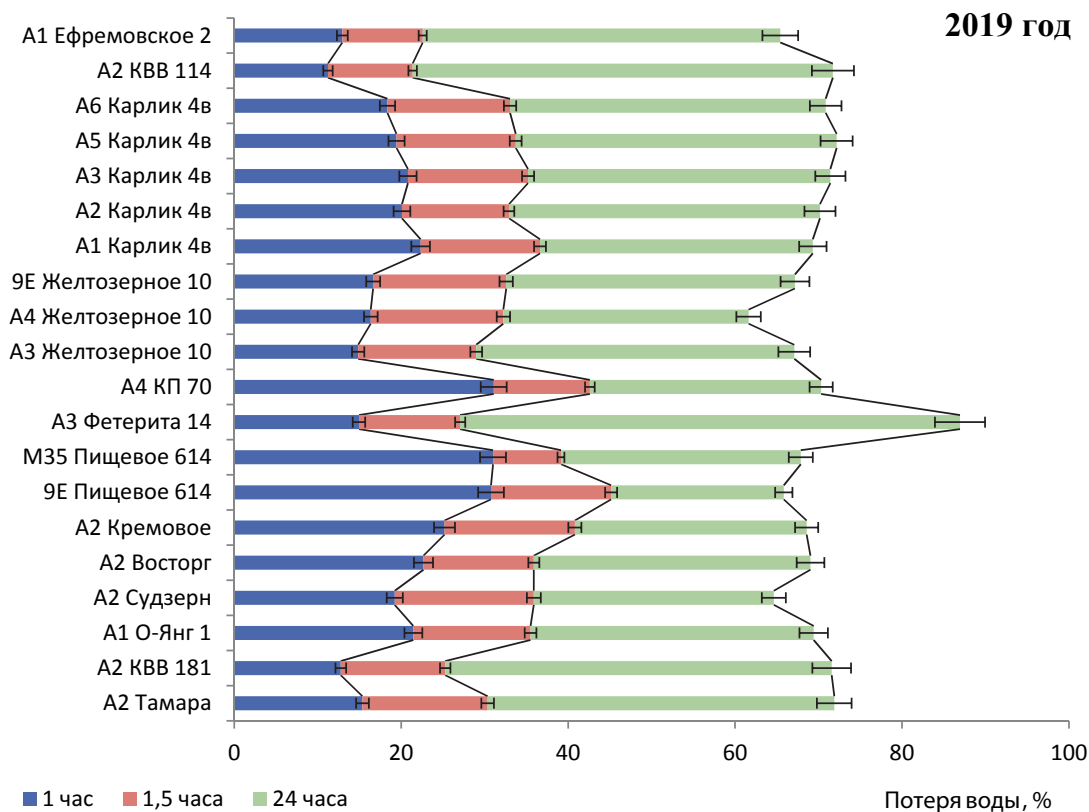


Рисунок. Потеря воды листьями после увядания в динамике (Саратов, 2019–2020 гг.)

Figure. Water loss by leaves after wilting in dynamics (Saratov, 2019-2020)

Сравнительный анализ между линиями с геномом Пищевое 614 на цитоплазмах 9Е и М35-1А, проведенный в 2019 г., выявил положительное влияние последней на засухоустойчивость: показатели оводненности выше на 2,7%, водоудерживающей способности – на 6,0%, а водного дефицита ниже на 2,6%.

Обсуждение

Абиотические стрессоры, в частности засуха, влияют на водные отношения растений на клеточном, тканевом и организменном уровнях, вызывая специфические и неспецифические реакции, повреждения и адаптационные проявления (Beck et al., 2007). Следует отметить, что у сорго засухоустойчивость специфична: есть генотипы с хорошей переносимостью стресса на одной из стадий развития, тогда как в другой фенологический период этот образец может быть восприимчив к засухе (Ependack et al., 2018). В наших исследованиях изучение реакции ЦМС-линий на сложившиеся метеорологические условия проводилось в критический период у сорго (фаза «цветение»). Установлена вариабельность стерильных линий по засухоустойчивости. Выявлены ЦМС-линии, у которых высокая степень засухоустойчивости по комплексу параметров проявлялась каждый сезон – А2 КВВ 181, А2 Кремовое, А4 КП 70, А2 КВВ 114. Выделены линии, у которых степень засухоустойчивости значительно различалась в годы с разной влагообеспеченностью во время цветения – А2 Тамара, А1 О-Янг 1, А2 Восторг, А1 Карлик 4в, А2 Карлик 4в, А3 Карлик 4в, А5 Карлик 4в, А6 Карлик 4в. К среднеустойчивым к засухе следует отнести А1 Ефремовское 2, А3 Желтозерное 10, А4 Желтозерное 10, 9Е Желтозерное 10, 9Е Пищевое 614, М35-1А Пищевое 614.

Кроме того, впервые у сорго установлено влияние типа стерильной цитоплазмы сорго на параметры водного режима у изоядерных ЦМС-линий. В изучение включены три набора стерильных линий: с геномами Желтозерное 10, Карлик 4в и Пищевое 614. Наличие изоядерных ЦМС-линий, различающихся только типом стерильности, позволило определить цитоплазматический эффект на физиологические признаки. У линий с геномом Желтозерное 10 наибольший цитоплазматический эффект на засухоустойчивость показала цитоплазма А3 в сравнении с цитоплазмой А4. В подтверждение наибольшего положительного эффекта цитоплазмы А3 на повышение засухоустойчивости можно представить и тот факт, что отношение хлорофиллов к каротиноидам у гибридов на этом типе ЦМС выше, чем у гибридов на цитоплазмах А4 и 9Е (Kibalnik, Elkonin, 2009). Цитоплазма А3 также отличается устойчивым функционированием системы восстановления фертильности в условиях дефицита влажности воздуха (Elkonin et al., 2018). Ранее проведенные исследования по влиянию типа стерильной цитоплазмы на комбинационную способность по хозяйственно ценным признакам установили различия между ЦМС-линиями при выращивании в засушливых условиях: ЦМС-ли-

ния А4 Желтозерное 10 отличалась более низкими эффектами общей комбинационной способности (Elkonin et al., 2018).

Анализ изоядерных ЦМС-линий с геномом Карлик 4в на основе цитоплазм А1, А2, А3, А5, А6 показал различия между ними. Примечательно, что у линии с типом ЦМС А5 в фазу цветения установлена высокая оводненность тканей (74,00%) и среднее испарение воды за 1 час в сутки (3,01%), а также наименьший водный дефицит (5,26%) в сравнении с линией на цитоплазме А1, традиционно используемой в селекции. При изучении пигментного состава в фазу цветения у гибридов F₁, полученных на основе данных ЦМС-линий, отмечено увеличение содержания хлорофиллов на цитоплазме А5 (Kibalnik, Kameneva, 2019). В проведенных ранее исследованиях по накоплению пигментов в листьях у гибридов на основе изоядерных ЦМС-линий с геномом Раннее 7 на цитоплазмах А1, А2, А4, 9Е наименьшее соотношение хлорофиллов к каротиноидам выявлено на цитоплазме А4, что свидетельствует о меньшей засухоустойчивости (Kibalnik, Elkonin, 2009).

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что стерильная цитоплазма у сорго играет значимую роль в проявлении не только селекционно ценных признаков, но и физиологических параметров водного режима: цитоплазмы А3 и А5 повышают устойчивость растений к температурному и водному стрессам, а цитоплазма А4 ее снижает. Аналогичные результаты цитоплазматических эффектов ЦМС-линий, различающихся только цитоплазмой, на признаки, характеризующие устойчивость к засухе, отмечены у подсолнечника (Tyagi et al., 2018) и аллоплазматических линий пшеницы (Terletskaia et al., 2020). Эти сведения необходимо учитывать в селекции новых гибридов, адаптированных к засушливым условиям региона.

Заключение

В данной работе представлены результаты использования метода диагностики водного режима листьев при оценке сорго на устойчивость к неблагоприятным факторам среды в период цветения растений, достаточно полно отражающие засухоустойчивость культуры. Установлена дифференцированная реакция стерильных линий на температурный и водный стрессы. Выделены ЦМС-линии с высокой засухоустойчивостью – А2 КВВ 181, А2 Кремовое, А4 КП 70, А2 КВВ 114. У изоядерных ЦМС-линий выявлено влияние цитоплазмы на следующие параметры водного режима листа: общую оводненность, водный дефицит, среднюю потерю воды через 1 час увядания в сутки, водоудерживающую способность. Цитоплазмы типа А3 и А5 повышают устойчивость растений, а цитоплазма А4 ее снижает. В целом исследование особенностей водного режима стерильных линий сорго показало достаточно высокий уровень их засухоустойчивости при выращивании в засушливых условиях Саратовской области.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства сельского хозяйства РФ и тематического плана ФГБНУ Российского научно-исследовательского и проектно-технологического института сорго и кукурузы (№ 082-00219-21-00).

The work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation and the thematic plan of the Russian Research and Design Technological Institute of Sorghum and Maize (No. 082-00219-21-00).

References / Литература

- Abraha T., Githiri S., Kasili R., Araia W., Nyende A.B. Genetic variation among sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) landraces from Eritrea under post-flowering drought stress conditions. *American Journal of Plant Sciences*. 2015;6(9):1410-1424. DOI: 10.4236/ajps.2015.69141
- Amelework B., Shimelis H., Tongoona P., Laing M. Physiological mechanisms of drought tolerance in sorghum, genetic basis and breeding methods: A review. *African Journal of Agricultural Research*. 2015;10(31):3029-3040. DOI: 10.5897/AJAR2015.9595
- Badigannavar A., Teme N., de Olivera A.C., Li G., Vaksmann M., Viana V.E. et al. Physiological, genetic and molecular basis of drought resilience in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Indian Journal of Plant Physiology*. 2018;23(4):670-688. DOI: 10.1007/s40502-018-0416-2
- Beck E.H., Fettig S., Knake C., Hartig K., Bhattarai T. Specific and unspecific responses of plants to cold and drought stress. *Journal of Biosciences*. 2007;32(3):501-510. DOI: 10.1007/s12038-007-0049-5
- Blum A., Sullivan C.Y. The comparative drought resistance of landraces of sorghum and millet from dry and humid regions. *Annals of Botany*. 1986;57(6):835-846. DOI: 10.1093/oxfordjournals.aob.a087168
- Chandra-Shekara A.C., Prasanna B.M., Singh B.B., Unnikrishnan K.V., Seetharam A. Effect of cytoplasm and cytoplasm-nuclear interaction on combining ability and heterosis for agronomic traits in pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. *Euphytica*. 2007;153(1):15-26. DOI: 10.1007/s10681-006-9194-4
- Chaves M.M., Flexas J., Pinheiro C. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*. 2009;103(4):551-560. DOI: 10.1093/aob/mcn125
- Elkonin L., Kibalnik O., Zavalishina A., Gerashchenkov G. Genetic function of cytoplasm in plants with special emphasis on sorghum. In: C. DeJesus, L. Trask (eds). *Chloroplasts and Cytoplasm. Structure and Function*. New York: Nova Science Publishers; 2018. p.97-155.
- Emendack Y., Burke J., Sanchez J., Laza H.E., Hayes C. Agromorphological characterization of diverse sorghum lines for pre- and post-flowering drought tolerance. *Australian Journal of Crop Science*. 2018;12(01):135-150. DOI: 10.21475/ajcs.18.12.01.pne790
- Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., Basra S.M.A. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 2009;29(1):185-212. DOI: 10.1051/agro:2008021
- Frankovskaya M.T., Papazov D.Yu., Ognnyahik L.G. The influence of different types of CMS on the productivity of hybrids (Vliyaniye raznykh tipov TsMS na produktivnost gibridov). *Kukuruz a i sorgo = Maize and Sorghum*. 1995;(3):4-5. [in Russian] (Франковская М.Т., Папазов Д.Ю., Огняник Л.Г. Влияние разных типов ЦМС на продуктивность гибридов. *Кукуруза и сорго*. 1995;(3):4-5).
- Ionova E.V. Drought and resistance to drought tolerance of spiked grain (review). *Grain Economy of Russia*. 2011;2(14):37-41. [in Russian] (Ионова Е.В. Засуха и засухоустойчивость зерновых колосовых (обзор). *Зерновое хозяйство России*. 2011;2(14):37-41).
- Kibalnik O.P., Elkonin L.A. Influence of male sterility-inducing cytoplasm types on pigment content in leaves of the F₁ grain sorghum hybrids. *Russian Agricultural Sciences*. 2009;(1):18-21. [in Russian] (Влияние типов стерильных цитоплазм на содержание пигментов в листьях гибридов F₁ зернового сорго. *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2009;(1):18-21).
- Kibalnik O.P., Kameneva O.B. Accumulation of chlorophyll in the leaves of sorghum hybrids based on sterility sources A1, A2, A3, A4, A5, A6 (Nakopleniye khlorofilla v listyakh gibridov sorgo na osnove istochnikov sterilnosti A1, A2, A3, A4, A5, A6). In: M.S. Gins (ed.). *Role of physiology and biochemistry in crop introduction and breeding (Rol fiziologii i biokhimii v introduktsii i selektsii selskokhozyaystvennykh rasteniy)*. *Proceedings of the V International Scientific and Methodological Conference in 2 vol. Moscow, April 15-19, 2019. Vol. 1*. Moscow: RUDN; 2019. p.324-327. [in Russian] (Кибальник О.П., Каменева О.Б. Накопление хлорофилла в листьях гибридов сорго на основе источников стерильности A1, A2, A3, A4, A5, A6. В кн.: *Роль физиологии и биохимии в интродукции и селекции сельскохозяйственных растений: сборник материалов V Международной научно-методологической конференции в 2 т. Москва, 15-19 апреля 2019 г. Т. 1 / под ред. М.С. Гинса. Москва: РУДН; 2019). С.324-327). DOI: 10.22363/09358-2019-324-327*
- Kochubey A.A., Zaremuk R.S. Study of drought tolerance of hybrid material of home plum in southern Russia. *Agrarian Science*. 2020;(6):94-98. [in Russian] (Кочубей А.А., Заремук Р.Ш. Исследование засухоустойчивости гибридного материала сливы домашней в условиях юга России. *Аграрная наука*. 2020;(6):94-98). DOI: 10.32634/0869-8155-2020-339-6-94-98
- Martynov S.P. Statistical and biometrical genetic analysis in crop production and breeding. AGROS 2.09 software package (Statisticheskiy i biometriko-geneticheskiy analiz v rasteniyevodstve i selektsii. Paket programm "AGROS 2.09"). Tver; 1999. [in Russian] (Мартынов С.П. Статистический и биометрико-генетический анализ в растениеводстве и селекции. Пакет программ «AGROS 2.09». Тверь; 1999).
- Phuong N., Afolayan G., El Soda M., Stützel H., Wenzel W., Uptmoo R. Genetic dissection of pre-flowering growth and development in *Sorghum bicolor* (L.) Moench under well-watered and drought stress conditions. *Agricultural Sciences*. 2014;5(11):923-934. DOI: 10.4236/as.2014.511100
- Reddy R.S., Patil J.V. Genetic enhancement of rabi sorghum: adapting the Indian Durra. Chennai: Academic Press; 2015.
- Sanchez A.C., Subudhi P.K., Rosenow D.T., Nguyen H.T. Mapping QTLs associated with drought resistance in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Plant Molecular Biology*. 2002;48(5-6):713-726. DOI: 10.1023/a:1014894130270
- Terletskaia N.V., Shcherban A.B., Nesterov M.A., Perfil'ev R.N., Salina E.A., Altayeva N.A. et al. Drought stress tolerance and photosynthetic activity of alloplasmic lines *T. dicoccum* × *T. aestivum*. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(9):3356. DOI: 10.3390/ijms21093356
- Torop A.A., Chaikin V.V., Mamedov R.Z., Filatova I.A. Influence the types of cytoplasmic masculine sterility on winter rye qualities. *Agrarian Science*. 2014;(3):17-18. [in Russian] (Тороп А.А., Чайкин В.В., Мамедов Р.З., Филатова И.А. Влияние типов цитоплазматической мужской стерильности на свойства озимой ржи. *Аграрная наука*. 2014;(3):17-18).
- Tyagi V., Dhillon S.K., Kaushik P., Kaur G., Characterization for drought tolerance and physiological efficiency in novel cytoplasmic male sterile sources of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Agronomy*. 2018;8(10):232. DOI: 10.3390/agronomy8100232

Udovenko G.V. (ed.) Diagnostics of plant resistance to stress: a methodological guide (Diagnostika ustoychivosti rasteniy k stressovym vozdeystviyam: metodicheskoye rukovodstvo). Leningrad: VIR; 1988. [in Russian] (Диа-

гностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство / под ред. Г.В. Удовенко. Ленинград: ВИР; 1988).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Кибальник О.П., Ларина Т.В., Каменева О.Б., Семин Д.С. Оценка засухоустойчивости ЦМС-линий сорго на основе различных источников стерильности. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):9-17. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-9-17

Kibalnik O.P., Larina T.V., Kameneva O.B., Semin D.S. Assessment of drought resistance in sorghum CMS lines based on various sterility sources. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(4):9-17. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-9-17

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-9-17>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Kibalnik O.P. <https://orcid.org/0000-0002-1808-8974>

Larina T.V. <https://orcid.org/0000-0002-3845-6578>

Kameneva O.B. <https://orcid.org/0000-0003-1583-7711>

Semin D.S. <https://orcid.org/0000-0003-0442-6933>

Изучение коллекционных образцов голозерного овса

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-18-26

УДК 633.13:631.559

Поступление/Received: 18.05.2021

Принято/Accepted: 14.09.2021



Н. В. КРотова*, Г. А. Баталова

Studying germplasm collection accessions of naked oats

N. V. KROTOVA*, G. A. BATALOVA

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого,
610007 Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166а
* [✉ nadja.1979@yandex.ru](mailto:nadja.1979@yandex.ru)

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky,
166a Lenina St., Kirov 610007, Russia
* [✉ nadja.1979@yandex.ru](mailto:nadja.1979@yandex.ru)

Актуальность. Селекционную ценность образцов, полученных из генофонда ВИР, можно оценить только в конкретных климатических и почвенных условиях. Изучение образцов позволяет в дальнейшем включить их в селекционный процесс.

Материалы и методы. В ФАНЦ Северо-Востока изучено 42 образца голозерного овса различного эколого-географического происхождения. Проведены биохимический анализ зерна и статистическая обработка данных методами вариационного и корреляционного анализов.

Результаты. Коллекционные образцы разделены на группы спелости: раннеспелые (до 80 дней), среднеспелые (81–84 дня), среднепоздние (85–89 дней). Выделены урожайные генотипы в каждой группе спелости. Высота растений зависит от гидротермических условий вегетации ($r = 0,25$). В коллекции образцы отнесены к низкорослым (64,0–99,1 см), в том числе стандарт 'Вятский' – 88,1 см. Отмечен значительный вклад отдельных элементов продуктивности метелки в повышение урожайности. Содержание белка и жира в зерне определяет его питательную и энергетическую ценность. Полученные данные свидетельствуют о положительной зависимости урожайности и содержания белка ($r = 0,44$). Выявлена достоверная отрицательная корреляция между содержанием жира и содержанием белка ($r = -0,61$). Изучение коллекционных образцов показало различное содержание жира в зерне по группам спелости.

Заключение. По результатам исследований выделены образцы – источники ценных признаков для использования в селекции. По комплексу признаков (урожайность, высота растений, количество зерен в метелке, масса метелки, содержание белка и жира в зерне) выделены образцы: раннеспелые 'Litovsij Nagij' (к-15234, Литва), 'Gkzalon' (к-15299, Монголия), 'MF9224-164' (к-15090, США); среднеспелые к-15248 (местный, Польша), MF9521-281 (к-15095, США); среднепоздние 'Bai Yan 2' (к-15525, Китай), 'Прогресс' (к-15339, Россия), 'Визит' (к-15501, Украина), 'Mina' (к-15192, Болгария).

Ключевые слова: урожайность, период вегетации, высота растений, количество зерен, масса зерна с растением, белок, жир.

Background. The breeding value of accessions from the VIR collection can be estimated only under specific climate and soil conditions. Studying such accessions helps to include them in the breeding process.

Materials and methods. Forty-two accessions of naked oats of various origin were studied at the FARC of the North-East. Biochemical analysis of grain and statistical data processing using descriptive statistics and correlation analysis techniques were carried out.

Results. The accessions were divided into groups according to their ripening schedule: early (up to 80 days), medium (81–84 days), and mid-late (85–89 days). High yielding genotypes were identified in each ripeness group. The plant height depended on the hydrothermal conditions of the growing season ($r = 0.25$). The studied accessions were all classified as undersized (64.0–99.1 cm), including the reference cv. 'Vyatsky' (88.1 cm). A significant contribution of some panicle productivity components to an increase in yield was observed. The protein and fat content in grain determines its nutritional and energy value. The results showed a positive relationship between yield and protein content ($r = 0.44$). A significant negative correlation between fat content and protein content ($r = -0.61$) was registered. The study of naked oat accessions showed different fat content in grain across the ripeness groups.

Conclusion. According to the results of the study, some accessions were identified as sources of traits useful for breeding. The following accessions were selected as the best according to a set of characters (yield, plant height, number of grains per panicle, panicle weight, protein and fat content in grain): early 'Litovsij nagij' (k-15234, Lithuania), 'Gkzalon' (k-15299, Mongolia) and 'MF9224-164' (k-15090, USA); medium k-15248 (local, Poland) and MF9521-281 (k-15095, USA); and mid-late 'Bai Yan 2' (k-15525, China), 'Progress' (k-15339, Russia), 'Visit' (k-15501, Ukraine) and 'Mina' (k-15192, Bulgaria).

Key words: yield, growing season, plant height, grain number, grain weight per plant, protein, fat.

Введение

Овес для Кировской области является значимой зерновой и зернофуражной культурой. Одним из путей увеличения валового сбора овса является создание и внедрение в производство урожайных сортов с высокими кормовыми и пищевыми качествами (Deines, 2017).

Основным источником получения новых сортов является генофонд мировой коллекции ВИР (Loskutov, 2006). Для создания широкого спектра изменчивости считается необходимым вовлечение в гибридизацию экологически отдаленных форм, которые обладают отдельными полезными признаками или их комплексом (Korobeynikov et al., 2008). Изучение генофонда культуры позволяет выделить источники, необходимые в работе селекционера, и определить параметры модели сорта в соответствии с условиями конкретной зоны произрастания (Tulyakova et al., 2021).

Материалы и методы

Исследования проведены в 2018–2020 гг. в ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока» (ФАНЦ Северо-Востока; Кировская обл.) на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах по предшественнику чистый пар. На делянках площадью 1 м² в трехкратной повторности изучено 42 образца голозерного овса. Стандарт – голозерный сорт 'Вятский'. Наблюдения, оценки и учеты проведены в соответствии с методическими указаниями ВИР (Loskutov et al., 2012) и международным классификатором (Velikovskiy et al., 1984). Статистическая обработка данных проведена методами вариационного и корреляционного анализов с использованием пакета прикладных программ AGROS 2.07 и табличного процессора Microsoft Office Excel 2007. Биохимические показатели качества зерна изучали с использованием

или сильными осадками, в результате чего произошло удлинение периода налива и созревания зерна. Май и июнь 2020 г. характеризовались неустойчивой по температуре погодой с небольшими дождями. В начале июля была очень теплая и жаркая сухая погода, во второй половине месяца – умеренно теплая и теплая, с сильными ливнями. В период от выметывания до созревания условия были достаточно благоприятны для формирования урожайности овса (ГТК = 1,95).

Результаты и обсуждение

Происхождение образцов. Коллекционный питомник овса голозерного был представлен 42 образцами различного эколого-географического происхождения из 13 стран мира. Наиболее представительными были коллекции США, Китая, Республики Беларусь – 9, 8 и 6 образцов соответственно, 4 образца из Болгарии, по два образца из Украины, Польши, Бразилии, по одному из Литвы, Словакии, Германии, Канады, Монголии. В изучении было 4 российских образца: 'Помор' (к-15117, Кемеровская обл.), 'Гаврош' (к-15439, Кемеровская обл.), КСИ-36-14 (к-15554, Московская обл.), 'Прогресс' (к-15339, Омская обл.), стандарт – голозерный овес 'Вятский' (к-14960, Кировская обл.).

Продолжительность вегетационного периода. В исследованиях И. Г. Лоскутова (1987–2000 гг.) показано влияние условий вегетации на варьирование продолжительности отдельных фаз и периода вегетации в целом у образцов овса коллекции ВИР – от 79,6–83,2 до 112,5–119,0 дней (Loskutov, 2007). В условиях Кировской области период вегетации варьировал в среднем от 77 дней в 2020 г. до 85 дней в 2019 г. (табл. 1). Неустойчивая погода с умеренными и сильными осадками в 2019 г. привела к удлинению периода налива и созревания зерна.

Таблица 1. Период вегетации «всходы – восковая спелость» у образцов голозерного овса (Кировская обл.)
Table 1. The period from seedling emergence to wax ripeness for naked oat accessions (Kirov Province)

Год / Year	Период вегетации «всходы – восковая спелость», дни / The period from seedling emergence to wax ripeness, days	
	среднее / mean	варьирование / variation
2018	78	73–85
2019	85	73–91
2020	77	73–86

экспресс-анализатора INFRAMATIC 8620 (Perten Instruments AB, Швеция).

Контрастные погодные условия, которые наблюдали в периоды вегетации 2018–2020 гг., позволили в полной мере оценить особенности генотипов овса. В начале вегетации в 2018 г. наблюдали неустойчивую по температуре, в основном без осадков погоду. Частые дожди и низкие температуры в июне привели к переувлажнению почвы. В августе наблюдали пониженные на 2°C температуры с осадками в пределах нормы, гидротермический коэффициент составил в период от посева до созревания 1,66. Наиболее продолжительный период вегетации был в 2019 г. В начале вегетации наблюдали теплую погоду, в последующем – пониженные температуры и незначительные осадки (ГТК = 0,40). Июль и август характеризовались неустойчивой холодной погодой с умеренными

В соответствии с Международным классификатором СЭВ рода *Avena* L. и классификацией голозерного овса (Krotova et al., 2020) образцы были разделены по группам спелости: раннеспелые, среднеспелые, среднепоздние и поздние (табл. 2).

Наиболее многочисленными были группы раннеспелых и среднеспелых генотипов: по 18 и 19 образцов соответственно. Позднеспелых образцов в изученном генофонде не выделено.

К раннеспелым отнесены: 'Помор' (к-15117, Россия), BYAS-161 (К-3892, Беларусь), BYAS-160 (К-3893, Беларусь), BYAS-159 (К-3894, Беларусь), BYAS-158 (К-3895, Беларусь), 'Королек' (к-15461, Беларусь), 'Litovsij Nagij' (к-15234, Литва), 'Ventura' (к-14945, Польша), Соломон (К-3890, Германия), AC Ernie (к-15304, Канада), 'Gkzalon' (к-15299, Монголия), PZS-LYM-02 (К-2523, Китай), PZS-

Таблица 2. Распределение образцов голозерного овса по группам спелости (2018–2020 гг.)**Table 2.** Distribution of naked oat accessions among the ripeness groups (2018–2020)

Группа спелости / Ripeness group	Период вегетации, дни / Growing season, days		Количество образцов, шт. / Number of accessions, pcs	% к общему числу / % of the total number
	среднее / mean	варьирование / variation		
Раннеспелые / Early	77	до 80	18	43
Среднеспелые / Medium	82	81–84	19	45
Среднепоздние / Mid-late	87	85–89	5	12
Позднеспелые / Late	92	90 и более	–	–
Всего / Total			42	100

LYM-04 (К-2525, Китай), MF8891-2021 (к-15086, США), MF9224-164 (к-15090, США), MF9809-19 (к-15099, США), MF9521-462 (к-15226, США), UFRGS 017129-1 (к-15492, Бразилия).

В среднеспелую группу вошли образцы: КСИ-36-14 (к-15554, Россия), 'Владыка' (К-3891, Беларусь), 'Авгол' (к-15505, Украина), АЗ ВМ 0584 (к-15193, Болгария), АЗ ВМ 0586 (к-15195, Болгария), АЗ ВМ 0589 (к-15196, Болгария), к-15248 (местный, Польша), 'Tatran' (к-15372, Словакия), 'BAI 2' (К-4580, Китай), PZS-LYM-03 (К-2524, Китай), 'Bay 16' (К-4105, Китай), 'Bay 15' (К-4104, Китай), Din Yan 3 (к-15519, Китай), MF9521-19 (к-15224, США), MF9116-31 (к-15217, США), MF9521-281 (к-15095, США), MF9521-79 (к-15160, США), MF9620-64 (к-15097, США), UFRGS 106150-3 (к-15493, Бразилия). К среднеспелым по периоду вегетации отнесен принятый в качестве стандарта сорт голозерного овса 'Вятский'.

В среднепозднюю группу вошли образцы: 'Гаврош' (к-15439, Россия), 'Прогресс' (к-15339, Россия), 'Визит' (к-15501, Украина), 'Mina' (к-15192, Болгария), 'Bai Yan 2' (к-15525, Китай).

В условиях Волго-Вятского региона интерес в первую очередь представляют образцы, обладающие скороспелостью, так как погодные условия не всегда позволяют реализовать продуктивный потенциал среднепоздних и поздних сортов. Использование в качестве родительских форм ранне- и среднеспелых образцов позволит

продвинуть культуру овса в более северные регионы возделывания.

Урожайность. Высокая урожайность – одно из основных требований, предъявляемых к сорту. На урожайность в исследованиях 2018–2020 гг. влияли погодные условия ($r = 0,184$) и генотип образца (Pereira et al., 2017). Средняя урожайность всего набора исследованных образцов составила 211 г/м^2 , что значительно ниже стандарта из-за того, что значительная часть коллекции представлена скороспелыми образцами. Известно, что скороспелость имеет обратную корреляционную зависимость с урожайностью, поскольку при ускоренном прохождении растениями фенологических фаз они суммарно меньше используют солнечной радиации на формирование вегетативных и генеративных органов и это приводит к снижению продуктивности (Nguyen-Sy et al., 2019). В группе раннеспелых генотипов средняя урожайность составила 191 г/м^2 , среднеспелых – 233 г/м^2 , среднепоздних – 226 г/м^2 .

В исследованиях наибольшая стабильность урожайности ($V = 5,9\%$) отмечена у среднеспелого сорта 'Авгол'. Изменчивость урожайности выше среднего ($V = 22,2–28,2\%$) наблюдали у 'Bay 16' ($252–345 \text{ г/м}^2$), КСИ-36-14 ($161–286 \text{ г/м}^2$), АЗ ВМ 0586 ($256–374 \text{ г/м}^2$).

Образцы среднеспелой группы имели в среднем урожайность 233 г/м^2 . Голозерный сорт 'Авгол' был наиболее урожайный – 366 г/м^2 , что выше стандарта на 26 г (табл. 3). Данный образец превысил стандарт 'Вят-

Таблица 3. Урожайность образцов голозерного овса разных групп созревания (Кировская обл., 2018–2020 гг.)**Table 3.** Yield of naked oat accessions across the ripeness groups (Kirov Province, 2018–2020)

Каталог / Catalogue No.	Название / Name	Происхождение / Origin	Урожайность, г/м^2 / Yield, g/m^2	Период «всходы – восковая спелость», дней / Days from seedling emergence to wax ripeness	Масса 1000 зерен, г / 1000-grain weight, g
к-15461	Королек	Беларусь	333 ± 50	73	$27,5 \pm 2,1$
к-15505	Авгол	Украина	366 ± 12	83	$26,9 \pm 2,9$
к-15501	Визит	Украина	267 ± 68	86	$29,9 \pm 1,3$
к-14960	Вятский, ст.	Россия	340 ± 59	81	$27,0 \pm 1,5$
НСР ₀₅			67		1,2

ский' по показателям «масса метелки», «масса зерна с метелки».

В группе раннеспелых генотипов максимальную урожайность имел сорт 'Королек' – 333 г/м², показатели выхода зерна (45,5%) и массы 1000 зерен (27,5 г) – выше стандарта. Коэффициент вариации урожайности выше среднего ($V = 25,4\text{--}26,0\%$) имели 'Королек' (237–405 г/м²) и MF9224-164 (179–299 г/м²).

У среднепозднего сорта-стандарта 'Визит' с урожайностью 267 г/м² показатели количества зерен в метелке (35 зерен) и массы 1000 зерен (29,9 г) были выше стандарта.

В целом по коллекции большинство образцов отличались высокой и очень высокой степенью изменчивости урожайности ($V = 22,2\text{--}83,0\%$).

Высота растений зависит от гидротермических условий вегетации ($r = 0,25$). По результатам исследований образцы коллекции отнесены к низкорослым (64,0–99,1 см), в том числе стандарт 'Вятский' – 88,1 см (табл. 4).

в 2018 г., показатель «коэффициент вариации» в 2019 г. был равен 9,6%. Наиболее стабильным по данному показателю был образец АЗ ВМ 0584 ($V = 3,5\%$). Значительная изменчивость ($V = 28,7\%$) отмечена у образца MF9521-281.

У среднепозднего сорта 'Mina' коэффициент вариации незначительный ($V = 3,3\%$), тогда как у сорта 'Гаврош' из данной группы спелости изменчивость была значительна ($V = 21,7\%$).

Сорт 'Прогресс' в 2019 и 2020 г. относился по классификации к среднерослым, имел высоту растений 102,9 и 104,4 см соответственно, в 2018 г. – к низкорослым (87,2 см), что может быть связано с особенностями реакции генотипа на некоторые факторы окружающей среды. В группе раннеспелых наименьшую высоту растений имел образец MF9224-164 (64,0 см), наиболее высокорослым был сорт 'Litovsij Nagij' (98,4 см). Высота растений в среднеспелой группе варьировала от 67,2 см (MF9521-281) до 97,3 см ('BAI 2'). У среднепоздних наи-

Таблица 4. Некоторые элементы структуры продуктивности голозерного овса (Кировская обл., 2018–2020 гг.)

Table 4. Some yield structure components of naked oats (Kirov Province, 2018–2020)

Каталог / Catalogue No.	Название / Name	Происхождение / Origin	Высота растений, см / Plant height, cm	Длина метелки, см / Panicle length, cm	Количество зерен в метелке, шт. / Number of grains per panicle, pcs
Раннеспелые / Early					
к-15090	MF9224-164	США	64,0 ± 5,5	14,4 ± 1,2	28 ± 5
к-15234	Litovsij Nagij	Литва	98,4 ± 2,5	19,4 ± 0,3	35 ± 4
к-15492	UFRGS 017129-1	Бразилия	81,2 ± 0,6	14,3 ± 0,3	33 ± 2
К-3894*	ВYAS-159	Беларусь	81,7 ± 4,4	16,2 ± 0,7	48 ± 8
Среднеспелые / Medium					
к-15095	MF9521-281	США	67,2 ± 11,1	15,2 ± 2,8	22 ± 8
к-15248	местный	Польша	96,0 ± 1,4	20,3 ± 2,7	47 ± 12
К-4508*	BAI 2	Китай	97,3 ± 0,6	14,1 ± 0,6	33 ± 8
К-4105*	Вay 16	Китай	85,9 ± 5,0	19,5 ± 1,3	56 ± 10
к-14960	ст. Вятский	Россия	88,1 ± 4,1	16,9 ± 0,5	32 ± 2
Среднепоздние / Mid-late					
к-15525	Bai Yan 2	Китай	99,1 ± 3,5	18,4 ± 0,2	33 ± 8
к-15339	Прогресс	Россия	98,2 ± 5,5	20,4 ± 0,6	38 ± 3
к-15192	Mina	Болгария	87,4 ± 2,9	19,0 ± 1,9	39 ± 13
НСР ₀₅			9,2	2,4	3

Примечание: * – номер по каталогу поступлений отдела овса ФАНЦ Северо-Востока

Note: * – the entry number in the catalogue of the Oats Department, FARC of the North-East

В группе раннеспелых образцов показатель «высота растений» имел изменчивость от незначительной в 2020 г. ($V = 7,8\%$) до средней в 2018 и 2019 г. ($V = 14,1\%$ и $V = 12,9\%$ соответственно). Стабильными по высоте растений в течение трех лет были 'Litovsij Nagij' ($V = 4,5\%$), ВYAS-160 ($V = 4,6\%$), 'Gkzalon' ($V = 4,9\%$).

Коэффициент вариации у среднеспелых образцов по высоте растений изменялся от 6,9% в 2020 г. до 19,3%

большая высота растений отмечена у сорта 'Bai Yan 2' (99,1 см).

Данный показатель важен при выборе направления селекции овса. При выведении сортов зерноукосного и укосного назначения в качестве источников признака предпочтительны высокие образцы, способные дать максимальную урожайность зеленой массы и сухого вещества.

Значительный вклад в повышение урожайности вносят отдельные элементы продуктивности метелки (длина, число колосков, число зерен).

Длина метелки. Длина метелки овса во многом зависит от условий среды и генотипа, при этом длинные, рыхлые, раскидистые метелки редко бывают высокопродуктивными (Loskutov, 2006). Коэффициент вариации длины метелки у изученных образцов изменялся от незначительного ($V = 2,0\%$) у раннеспелого сорта 'Gkzalon' (Монголия) до значительного ($V = 28,7\%$) у среднеспелого образца из Китая 'Bay 16'.

В группе раннеспелых образцов показатель «длина метелки» варьировал от короткой у UFRGS 017129-1 (14,3 см) до длинной у 'Litovsij Nagij' (19,4 см). Короткой метелкой обладали BYAS-158 (14,5 см), MF9224-164

за годы исследований BYAS-159 (48 зерен), у среднеспелых – сорт 'Bay 16' (56 зерен), среднепоздних – 'Mina' (39 зерен). В среднем данный показатель варьировал от 22 зерен (MF9521-281) до 56 зерен ('Bay 16'). Метелка сорта-стандарта 'Вятский' имела по данным трех лет изучения 32 зерна. Показатель «количество зерен в метелке» оказал значимое влияние на урожайность зерна ($r = 0,46$).

Масса зерна с метелки. Значимым показателем, влияющим на продуктивность метелки, является ее озерненность ($r = 0,32-0,43$). Образцы с наибольшей массой зерна с метелки выявлены в более поздних группах спелости, так как с увеличением периода вегетации масса зерна увеличивается ($r = 0,26$): АЗ ВМ 0584, к-15248 (местный), 'Bay 16', 'Прогресс' (табл. 5).

Таблица 5. Образцы голозерного овса с высокой продуктивностью и массой 1000 зерен (Кировская обл., 2018–2020 гг.)

Table 5. Naked oat accessions with high productivity and high 1000 grain weight (Kirov Province, 2018–2020)

Каталог / Catalogue No.	Название / Name	Происхождение / Origin	Продуктивность метелки, г / Panicle productivity, g	Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g
Раннеспелые / Early				
К-3892*	BYAS-161	Беларусь	0,86 ± 0,29	29,2 ± 4,9
к-15299	GKZALON	Монголия	1,06 ± 0,30	32,0 ± 6,1
Среднеспелые / Medium				
к-15193	АЗ ВМ 0584	Болгария	1,21 ± 0,19	29,9 ± 3,0
к-15196	АЗ ВМ 0589	Болгария	0,99 ± 0,14	32,1 ± 1,9
к-15248	местный	Польша	1,32 ± 0,21	28,0 ± 5,1
К-4105*	Bay 16	Китай	1,48 ± 0,33	28,8 ± 1,8
к-14960	Вятский, ст.	Россия	0,82 ± 0,04	27,0 ± 1,5
Среднепоздние / Mid-late				
к-15439	Гаврош	Россия	0,97 ± 0,14	30,4 ± 4,2
к-15339	Прогресс	Россия	1,29 ± 0,13	32,4 ± 1,2
НСР ₀₅			0,11	1,2

Примечание: * – номер по каталогу поступлений отдела овса ФАНЦ Северо-Востока

Note: * – the entry number in the catalogue of the Oats Department, FARC of the North-East

(14,4 см), MF9809-19 (14,2 см). У остальных образцов раннего срока созревания длина метелки средняя.

Наиболее длинная метелка (20,3 см) из среднеспелой группы была у образца к-15248 (местный). По градации длинной метелкой обладал также 'Bay 16' (19,5 см). Среднее значение длины метелки в данной группе – 16,5 см.

В самой малочисленной группе среднепоздних образцов длина метелки составила 15,3–20,4 см. Максимальный показатель получен у сорта 'Прогресс'. В исследованиях не выявлено зависимости урожайности от длины метелки ($r = -0,051...-0,020$), при этом длина метелки вносила значительный вклад в высоту растений ($r = 0,53-0,71$).

Число зерен в метелке. М. Н. Фомина отмечала влияние количества зерен в метелке на урожайность сорта ($r = 0,64$) (Fomina, 2016). Среди раннеспелой группы образцов наибольшее количество зерен имел в среднем

В исследованиях выявлена положительная корреляционная зависимость массы 1000 зерен от массы зерна с метелки ($r = 0,20$). Показатель «масса зерна с метелки» сильно варьировал как по годам, так и по образцам внутри групп спелости. Коэффициент вариации у раннеспелых образцов был в пределах от $V = 14,0\%$ (MF9521-462) до $V = 68,7\%$ (BYAS-160). Менее всего подверженным колебаниям данный признак был у образца среднеспелой группы: MF9521-19 ($V = 5,5\%$) и сорта 'Авгол' ($V = 7,7\%$).

Масса 1000 зерен. Коэффициент вариации показателя массы 1000 зерен был незначительным или средним, следовательно данным признаком стабилен и меньше подвержен влиянию условий выращивания (табл. 6).

У голозерного овса масса 1000 зерен является одним из важнейших показателей, который определяет семенную и продовольственную значимость сорта. В группе раннеспелых восемь образцов имели среднюю массу

Таблица 6. Коэффициент варьирования показателя «масса 1000 зерен» у голозерного овса, V% (Кировская обл., 2018–2020 гг.)**Table 6. Coefficients of variation for 1000 grain weight among naked oat accessions, V% (Kirov Province, 2018–2020)**

Группа спелости / Ripeness group	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Раннеспелые / Early	14,6	16,7	21,5
Среднеспелые / Medium	16,6	11,6	16,1
Среднепоздние / Mid-late	13,4	9,2	13,7

1000 зерен (26,1–32,0 г): BYAS-161, 'Королек' (Беларусь), 'Ventura' (Польша), 'Gkzalon' (Монголия), PZS-LYM-02 (Китай), MF8891-2021, MF9224-164, MF9809-19 (США). В среднеспелой группе средний показатель массы 1000 зерен был у 15 образцов. Высокую массу 1000 зерен имел образец 'BAI 2' (39,2 г). Средняя масса 1000 зерен среднепоздних образцов составила 27,0–34,5 г.

В селекции необходимы генотипы, сочетающие высокие показатели продуктивности метелки и массы 1000 зерен, такие как раннеспелые BYAS-161 и 'Gkzalon'; среднеспелые к-15248 (местный), АЗ ВМ 0584, АЗ ВМ 0589; среднепоздние сорта 'Гаврош' и 'Прогресс'.

Содержание белка в зерне. Содержание белка и жира в зерне определяет его питательную и энергетическую ценность. Рядом авторов отмечено значительное влия-

ние на содержание белка в зерне метеорологических факторов, в меньшей степени – влияние генотипа (Batalova, Vologzhanina, 2012; Ivanova et al., 2018). Полученные данные свидетельствуют о достоверной положительной зависимости урожайности и содержания белка ($r = 0,44$).

Исследователи отмечают повышенное содержание белка в зерне у более скороспелых сортов (Isachkova, Ganichev, 2012), что согласуется с нашими результатами. В группе раннеспелых максимальное содержание белка в зерне (13,47%) имел сорт из Монголии 'Gkzalon', что больше стандарта на 1,45% (табл. 7). Показатель выше стандарта имели образцы: PZS-LYM-02, MF8891-2021, MF9224-164, MF9809-19, MF9521-462 и др. Среднее значение содержания белка в группе раннеспелых генотипов составила 12,12%.

Таблица 7. Содержание белка и жира в образцах голозерного овса (Кировская область, 2018–2020 гг.)**Table 7. Protein and fat content in naked oat accessions (Kirov Province, 2018–2020)**

Каталог / Catalogue No.	Название / Name	Происхождение / Origin	Урожайность, г/м ² / Yield, g/m ²	Содержание в зерне, % / Content in grain, %	
				белка / of protein	жира / of fat
Раннеспелые / Early					
к-15299	Gkzalon	Монголия	186 ± 36	13,47 ± 0,11	6,37 ± 1,45
К-2523*	PZS-LYM-02	Китай	114 ± 55	12,85 ± 1,34	6,77 ± 0,41
к-15086	MF8891-2021	США	307 ± 55	12,61 ± 1,26	7,51 ± 0,59
к-15090	MF9224-164	США	237 ± 35	12,82 ± 1,18	5,87 ± 0,56
к-15099	MF9809-19	США	164 ± 58	12,83 ± 1,10	6,90 ± 0,32
к-15226	MF9521-462	США	148 ± 57	12,69 ± 1,24	7,45 ± 0,41
к-15117	Помор	Россия	241 ± 79	11,95 ± 1,51	7,63 ± 0,49
К-3893*	BYAS-160	Беларусь	187 ± 86	12,08 ± 1,50	7,80 ± 0,21
к-15234	Litovsij Nagij	Литва	184 ± 45	10,25 ± 0,30	7,72 ± 0,30
Среднеспелые / Medium					
к-15097	MF9620-64	США	123 ± 47	14,85 ± 0,31	4,90 ± 1,16
К-3891*	Владыка	Беларусь	297 ± 63	13,06 ± 1,28	7,28 ± 0,10
к-15217	MF9116-31	США	207 ± 46	12,92 ± 1,15	6,58 ± 0,16
к-15095	MF9521-281	США	117 ± 37	12,92 ± 0,95	6,43 ± 0,12

Таблица 7. Окончание

Table 7. The end

Каталог / Catalogue No.	Название / Name	Происхождение / Origin	Урожайность, г/м ² / Yield, g/m ²	Содержание в зерне, % / Content in grain, %	
				белка / of protein	жира / of fat
Среднеспелые / Medium					
К-2524*	PZS-LYM-03	Китай	137 ± 38	12,35 ± 0,89	7,82 ± 0,11
к-15195	A3 BM 0586	Болгария	315 ± 48	11,60 ± 1,13	8,50 ± 0,44
к-15196	A3 BM 0589	Болгария	273 ± 54	10,93 ± 0,48	9,04 ± 0,09
к-15248	местный	Польша	302 ± 56	10,61 ± 0,10	8,01 ± 0,18
к-15372	Tatran	Словакия	266 ± 77	10,24 ± 1,06	8,15 ± 0,20
к-15160	MF9521-79	США	223 ± 36	10,97 ± 1,10	8,03 ± 0,21
к-15554	КСИ-36-14	Россия	237 ± 39	10,51 ± 2,11	9,25 ± 0,45
к-14960	Вятский ст.	Россия	340 ± 59	12,02 ± 0,93	7,83 ± 0,20
Среднепоздние / Mid-late					
к-15525	Bai Yan 2	Китай	264 ± 20	11,36 ± 0,66	7,56 ± 0,27
к-15339	Прогресс	Россия	207 ± 46	11,36 ± 0,80	7,62 ± 0,29
к-15439	Гаврош	Россия	173 ± 42	10,32 ± 1,08	7,98 ± 0,31
к-15501	Визит	Украина	267 ± 68	10,71 ± 0,76	8,05 ± 0,40
к-15192	Mina	Болгария	218 ± 85	10,05 ± 1,20	9,09 ± 0,22
НСР ₀₅			67	0,61	0,22

Примечание: * – номер по каталогу поступлений отдела овса ФАНЦ Северо-Востока

Note: * – the entry number in the catalogue of the Oats Department, FARC of the North-East

Наибольшее содержание белка – 14,85%, или выше сорта-стандарта 'Вятский' на 2,83%, – среди изученных генотипов отмечено у среднеспелого образца MF9620-64. Повышенное содержание белка в зерне имели образцы среднеспелой группы: 'Владыка', MF9116-31, MF9521-281, PZS-LYM-03.

В литературе отмечают, что при увеличении продолжительности вегетационного периода образцов голозерного овса снижается накопление белка в зерне (Scariot et al., 2018). Данная закономерность прослеживается и в наших исследованиях. Среднее содержание белка у среднепоздних образцов составило 10,76%. Сорта 'Bai

Yan 2' (Китай) и 'Прогресс' (Россия) имели содержание белка по 11,36%.

Содержание жира в зерне менее подвержено воздействию окружающих условий. Выявлена достоверная отрицательная корреляционная зависимость между содержанием жира и содержанием белка ($r = -0,61$).

Изучение коллекционных образцов показало различное содержание жира в зерне по группам спелости (табл. 8). В группе среднеспелых шесть из 19 образцов имели высокое содержание жира (8,01–9,25%). Два образца из группы среднепоздних также имели высокое содержание жира (8,05 и 9,09%).

Таблица 8. Количественное распределение образцов по содержанию жира в зерне внутри групп спелости (Кировская область, 2018–2020 гг.)

Table 8. Quantitative distribution of accessions by fat content in grain across the ripeness groups (Kirov Province, 2018–2020)

Группа спелости / Ripeness group	Содержание жира, % / Fat content, %		
	Низкое, менее 6% / Low, less than 6%	Среднее, 6,01–8,00% / Medium, 6,01–8,00%	Высокое, более 8,01% / High, more than 8,01%
Раннеспелые / Early	1	17	–
Среднеспелые / Medium	1	12	6
Среднепоздние / Mid-late	–	3	2

Высокое в сравнении со стандартом содержание жира отмечено у образцов среднего срока созревания: АЗ ВМ 0586, АЗ ВМ 0589, к-15248 (местный), 'Tatran', MF9521-79. Лидером по содержанию жира был образец КСИ-36-14 – 9,25%, что выше стандарта на 1,42%.

В группе раннеспелых образцов показатель на уровне стандарта имели 'Помор', ВУАС-160, 'Litovsij Nagij'.

Среди среднепоздних генотипов по содержанию жира в зерне выделены сорта 'Гаврош', 'Визит' и 'Mina'. Влияния урожайности и элементов ее структуры на показатель «содержание жира в зерне» не выявлено.

Выводы

По результатам исследований выделены образцы – источники ценных признаков для использования в селекции.

По урожайности образцы из различных групп спелости выделены: 'Королек' (к-15461, Беларусь), 'Авгол' (к-15505, Украина), 'Визит' (к-15501, Украина).

По высоте растений, длине метелки, количеству зерен в метелке выделены: 'Litovsij Nagij' (к-15234, Литва),

ВУАС-159 (К-3894, Беларусь), к-15248 (местный, Польша); 'Вай 16' (К-4105, Китай), 'Прогресс' (к-15339, Россия); 'Mina' (к-15192, Болгария).

Источники с повышенным содержанием белка: раннеспелые 'Gkzalon' (к-15299, Монголия), PZS-LYM-02 (К-2523, Китай), MF9224-164 (к-15090, США), MF9809-19 (к-15099, США); среднеспелые MF9620-64 (к-15097, США), 'Владыка' (К-3891, Беларусь). По содержанию жира: раннеспелый ВУАС-160 (К-3893, Беларусь); среднеспелые КСИ-36-14 (к-15554, Болгария), АЗ ВМ 0586 (к-15195, Болгария), АЗ ВМ 0589 (к-15196, Болгария); среднепоздние 'Визит' (к-15501, Украина) и 'Mina' (к-15192, Болгария).

По комплексу признаков (урожайность, высота растений, количество зерен в метелке, масса метелки, содержание белка и жира в зерне) выделены образцы: раннеспелые 'Litovsij Nagij' (к-15234, Литва), 'Gkzalon' (к-15299, Монголия), MF9224-164 (к-15090, США); среднеспелые к-15248 (местный, Польша), MF9521-281 (к-15095, США); среднепоздние 'Вай Ян 2' (к-15525, Китай), 'Прогресс' (к-15339, Россия), 'Визит' (к-15501, Украина), 'Mina' (к-15192, Болгария).

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану по проекту № 0767-2019-0093 «Разработка и реализация фундаментальных научно-методических подходов мобилизации, изучения, создания (в том числе с использованием биотехнологий) и поддержания уникальных природных и экспериментальных генетических ресурсов яровых зерновых культур (пшеница, ячмень, овес); моделей сортов с повышенной продуктивностью и устойчивостью к действию стрессовых биотических и абиотических факторов, с улучшенными селекционно-ценными признаками; технологии управления продукционным процессом с учетом эдафических и биотических стрессовых факторов европейского Северо-Востока России, локального и глобального изменения климата для решения актуальных задач обеспечения импортозамещения и улучшения качества питания населения».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan under Project No. 0767-2019-0093 "Development and implementation of fundamental scientific and methodological approaches to mobilize, study, develop (including the use of biotechnology) and maintain unique natural and experimental genetic resources of spring cereal crops (wheat, barley, and oats); models of cultivars with increased productivity and resistance to biotic and abiotic stressor, with improved traits useful for breeding; technologies for managing the production process, taking into account edaphic and biotic stressors of the European Northeast of Russia, and local and global climate change, to solve urgent problems of ensuring import substitution and improving the quality of nutrition of the population".

References / Литература

- Batalova G.A., Vologzhanina E.N. Influence of technological methods of cultivation on forming of quality of naked oats grain *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2012;(10):35-37. [in Russian] (Баталова Г.А., Вологжанина Е.Н. Влияние элементов технологии возделывания на формирование качества зерна голозерного овса. *Достижения науки и техники АПК*. 2012;(10):35-37).
- Deines N.V. Results of the study of oat source material in the environments of Altai Territory. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2017;178(4):36-42. [in Russian] (Дейнес Н.В. Результаты изучения исходного материала овса в условиях Алтайского края. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017;178(4):36-42). DOI: 10.30901/2227-8834-2017-4-36-42
- Fomina M.N. Productivity of scarious oat varieties and peculiarities of its formation under conditions of the northern forest steppe of Tyumen region *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2016;30(12):24-27. [in Russian] (Фомина М.Н. Урожайность пленчатых сортов овса и особенности ее формирования в условиях северной лесостепи Тюменской области. *Достижения науки и техники АПК*. 2016;30(12):24-27).
- Isachkova O.A., Ganichev B.L. Biochemical indexes of bare-grained oat quality. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2012;4(25):12-17. [in Russian] (Исачкова О.А., Ганичев Б.Л. Биохимические показатели качества зерна голозерного овса. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2012;4(25):12-17).
- Ivanova Yu.S., Fomina M.N., Loskutov I.G. Biochemical indices of grain quality of the collective samples of naked oat under the conditions of northern forest-steppe. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018;32(6):38-41. [in Russian] (Иванова Ю.С., Фомина М.Н., Лоскутов И.Г. Биохимические показатели качества зерна у коллекционных образцов овса голозерного в условиях северной лесостепи. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(6):38-41). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10609
- Korobeynikov N.I., Rozova M.A., Boradulina V.A. Results and the main tasks of grain crops breeding in Altai Territory. *Achievements of Science and Technology of*

- AIC. 2008;(11):13-17. [in Russian] (Коробейников Н.И., Розова М.А., Борадулина В.А. Результаты и основные задачи селекции зерновых культур в Алтайском крае. *Достижения науки и техники АПК*. 2008;(11):13-17).
- Krotova N.V., Batalova G.A., Changzhong R., Zhuravleva G.P. Growing season and productivity of naked oats. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(3):245-252. [in Russian] (Кротова Н.В., Баталова Г.А., Changzhong R., Журавлева Г.П. Вегетационный период и урожайность голозерного овса. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;21(3):245-252). DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.3.245-252
- Loskutov I.G. Modern system of the genus *Avena* L. *Works on Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 2006;162:84-97. [in Russian] (Лоскутов И.Г. Современная система рода *Avena* L. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2006;162:84-97).
- Loskutov I.G. Oat (*Avena* L.). Distribution, taxonomy, evolution and breeding value. St. Petersburg: VIR; 2007. [in Russian] (Лоскутов И.Г. Овес (*Avena* L.). Распространение, систематика, эволюция и селекционная ценность. Санкт-Петербург: ВИР; 2007).
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoy kollektsii yachmenya i ovsya). 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).
- Nguyen-Sy T., Cheng W., Tawarayama K., Sugawara K., Kobayashi K. Impacts of climatic and varietal changes on phenology and yield components in rice production in Shonai region of Yamagata Prefecture, Northeast Japan for 36 years. *Plant Production Science*. 2019;22(3):382-384. DOI: 10.1080/1343943X.2019.1571421
- Pereira H.S., Alvares R.C., de Cássia Silva F., de Faria L.C., Melo L.C. Genetic, environmental and genotype x environment interaction effects on the common bean grain yield and commercial quality. *Semina: Ciências Agrárias*. 2017;38(3):1241-1250. DOI: 10.5433/1679-0359.2017v38n3p1241
- Scariot M.A., Radünz L.L., Dionello R.G., Toni J.R., Mossi A.J., Reichert Jr. F.W. Quality of wheat grains harvested with different moisture contents and stored in hermetic and conventional system. *Journal of Stored Products Research*. 2018;75:29-34. DOI: 10.1016/j.jspr.2017.11.005
- Tulyakova M.V., Batalova G.A., Loskutov I.G., Permyakova S.V., Krotova N.V. Assessment of adaptability parameters in hulled oat germplasm accessions in terms of their yield in the environments of Kirov Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):72-79. [in Russian] (Тулякова М.В., Баталова Г.А., Лоскутов И.Г., Пермякова С.В., Кротова Н.В. Оценка адаптивных параметров коллекционных образцов овса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(1):72-79). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79
- Velikovskiy V., Bareš I., Forel A., Segnalova J., Odegnal V., Vostřák J., Longauer I., Trnka M., Kobylyansky V., Rodionova N., Soldatov V., Korneichuk V., Yarosh N. International COMECON list of descriptors for the genus *Avena* L. Leningrad: VIR; 1984. [in Russian] (Великовский В., Бареш И., Форел А., Сегналова Я., Одегнал В., Востржак Й., Лонгауер И., Трнка М., Кобылянский В., Родионова Н., Солдатов В., Корнейчук В., Ярош Н. Международный классификатор СЭВ рода *Avena* L. Ленинград: ВИР; 1984).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Кротова Н.В., Баталова Г.А. Изучение коллекционных образцов голозерного овса. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(4):18-26. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-18-26

Krotova N.V., Batalova G.A. Studying germplasm collection accessions of naked oats. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):18-26. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-18-26

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-18-26>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Krotova N.V. <https://orcid.org/0000-0003-1355-083X>

Batalova G.A. <https://orcid.org/0000-0002-3491-499X>

Исходный материал для гибридной селекции кукурузы на многопочатковость из коллекции ВИР

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-27-35

УДК 633.15

Поступление/Received: 12.09.2020

Принято/Accepted: 22.03.2021



Source material from the VIR collection for hybrid breeding of multiple-ear maize

В. Н. БОЙКО¹, Э. Б. ХАТЕФОВ^{2*}V. N. BOYKO¹, E. B. KHATEFOV^{2*}¹ Федеральный исследовательский центр

Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Кубанская опытная станция – филиал ВИР, 352183 Россия, Краснодарский край, Гулькевичский район, п. Ботаника, ул. Центральная, 2
✉ boyko_vlad@mail.ru

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Kuban Experimental Station of VIR, 2 Tsentralnaya St., Krasnodar 352183, Russia
✉ boyko_vlad@mail.ru

² Федеральный исследовательский центр

Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44.

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St Petersburg 190000, Russia

* ✉ haed1967@rambler.ru

* ✉ haed1967@rambler.ru

Актуальность. Расширение генетического полиморфизма кукурузы с целью повышения ее продуктивности путем вовлечения в селекцию многопочатковых генотипов является актуальной задачей.

Материалы и методы. На Кубанской опытной станции ВИР в 2017 г. изучено 596 образцов коллекции кукурузы ВИР. В степной зоне Кабардино-Балкарии, на территории ИПА ОТБОР, в 2020 г. испытаны 52 гибрида между многопочатковыми и однопочатковыми линиями кукурузы. Проведен учет селекционно ценных признаков, вычислен коэффициент многопочатковости ($k_{мп}$) у исходных линий и их гибридного потомства с однопочатковым тестером с ранжированием типа наследования признака многопочатковости у 52 родительских линий.

Результаты. Выделены образцы, характеризующиеся сочетанием многопочатковости с рядом хозяйственно ценных признаков: по высоте растений (балл 5, 126–175 см) – к-8819, к-9054, к-15269, к-15355, к-15360, к-15331, к-15877, к-15442, к-15443, к-15445, к-8009, к-14344, к-15195, к-15226, к-17385; по высоте прикрепления початка для механизированной уборки (балл 5, 50–70 см) – к-8819, к-15269, к-15355, к-15360, к-14394, к-14904, к-14979, к-14968, к-15292, к-15391, к-9289, к-15322, к-15439, к-15442, к-15443, к-14344. Выделены источники: увеличения длины початка (балл 9, > 20 см) – к-9054, к-4535, к-13730, к-14817, к-14996; увеличения числа рядов на початке (балл 5–9, > 16 рядов зерен) – к-14904, к-14979, к-14968, к-15442, к-15330, к-15322, к-9257; повышения числа зерен в ряду початка (балл 5–9, > 31 зерна в ряду) – к-14904, к-14996, к-15639, к-15353, к-15330, к-15322, к-15344, к-15281, к-15439, к-9357, к-15237. Ранжирование 52 образцов по результатам тест-красса показало, что девять образцов давали потомство материнского типа (не более одного початка), 26 образцов – промежуточного типа (от 1,1 до 1,5 початков на растении), 11 – отцовского типа (от 1,6 до 2,0 початков на растении) и шесть – гетерозисного типа (более двух початков на растении).

Ключевые слова: *Zea mays* L., двухпочатковость, трехпочатковость, четырехпочатковость, урожай зерна, хозяйственно ценные признаки, гибрид, тест-кросс.

Background. Expanding the genetic polymorphism of maize is an effective way to increase its productivity by involving multiple-ear genotypes in breeding.

Materials and methods. In 2007, 596 maize accessions from VIR were assessed at the Kuban Experiment Station of VIR. In 2020, 52 hybrids between multiple-ear and single-ear maize lines were tested in the steppe zone of Kabardino-Balkaria at the site of the OTBOR Agrifirm. Useful agronomic traits were recorded, the coefficient of prolificacy (k_{mc}) was calculated for the source lines and their hybrid progeny from crosses with a single-ear tester, and 52 parent lines were ranked according to the type of inheritance of the prolificacy feature.

Results. Accessions that combined prolificacy with other useful agronomic traits were identified. The following accessions were selected for their plant height (score 5, 126–175 cm): k-8819, k-9054, k-15269, k-15355, k-15360, k-15331, k-15877, k-15442, k-15443, k-15445, k-8009, k-14344, k-15195, k-15226 and k-17385. Accessions that excelled in the height of the ear attachment for mechanized harvesting (score 5, 50–70 cm) were as follows: k-8819, k-15269, k-15355, k-15360, k-14394, k-14904, k-14979, k-14968, k-15292, k-15391, k-9289, k-15322, k-15439, k-15442, k-15443 and k-14344. Sources of the following traits were identified: long cob (score 9, > 20 cm): k-9054, k-4535, k-13730, k-14817 and k-14996; higher number of rows per ear (score 5–9, > 16 grain rows): k-14904, k-14979, k-14968, k-15442, k-15330, k-15322 and k-9257; and higher number of grains in a row (score 5–9, > 31 grains per row): k-14904, k-14996, k-15639, k-15353, k-15330, k-15322, k-15344, k-15281, k-15439, k-9357 and k-15237. Ranking 52 accessions according to the test cross results showed that 9 of them produced progeny of the maternal type (no more than one ear), 26 of the intermediate type (1.1–1.5 ears per plant), 11 of the paternal type (1.6–2.0 ears) and 6 of heterotic type (more than 2 ears).

Key words: *Zea mays* L., two- three- and four-ear maize, grain yield, useful agronomic traits, hybrid, test cross.

Введение

С тех пор как в 1930-х гг. первые коммерческие гибриды были внедрены в производство, начался рост урожайности кукурузы (Fasoula, 2005). Однако к концу XX века возникла реальная угроза генетической эрозии из-за сужения генетического разнообразия исходных линий, используемых в гибридной селекции. Одной из актуальных проблем современной гетерозисной селекции высокоурожайных гибридов кукурузы является создание исходного материала, отличающегося наличием двух и более початков на растении (многопочатковостью). Выделение генотипов кукурузы, закладывающих несколько зачаточных початков на стебле, важно для повышения урожайности зерна за счет внедрения в производство многопочатковых гибридов кукурузы.

Наличие форм кукурузы с большим числом початков обусловлено ее генетическим и эволюционным происхождением от дикого сородича – теосинте. Растения предковой кукурузы отличались многостебельностью и многопочатковостью, как и ее дикие сородичи: теосинте и трипсакум. Впоследствии, в результате эволюции и длительных отборов, признак многопочатковости у кукурузы был подавлен, и современные сорта и гибриды имеют на растении по одному початку (Shmaraev, 1975; Yang et al., 2019; Liu et al., 2020).

Степень проявления двухпочатковости у кукурузы определяется генотипом и средой. Потенциальная способность формировать два и более початка является биологической особенностью образца (сорта, линии или популяции), но находится в тесной связи с погодными условиями и агрофоном (Akhvlediani, 1984; Khatefov et al., 2020). Было установлено, что у растений, склонных к развитию многопочатковости, верхние зачаточные початки уже на ранних этапах органогенеза развиваются синхронно и завершают онтогенетический цикл одновременно. По морфофизиологическим данным можно прогнозировать уровень развития многопочатковости у исходного материала уже на ранних этапах органогенеза и устанавливать потенциал продуктивности двухпочатковых генотипов кукурузы (Paritov, 2010).

Растения многопочатковых образцов быстро растут в течение всего репродуктивного периода. Главное их преимущество выражается в способности формировать более высокий урожай зерна двумя путями: сокращением бесплодия растений при загущении и компенсацией снижения густоты посева увеличением числа початков на растении (Basavanneppa, Kuchanur, 2020; Sangoi, 2001). Благодаря этому двухпочатковые гибриды обеспечивают более стабильные урожаи зерна в различных условиях выращивания (Panfilova, 2020).

Результаты изучения урожайности многопочатковых линий и их тест-кроссов показывают, что двухпочатковые формы не только не уступают, но и довольно значительно превосходят по урожайности зерна и числу початков формы, полученные от однопочатковых растений (Jamratong et al., 2000). По своей структуре первые початки многопочатковых растений бывают достаточно крупными и в целом не уступают початкам, полученным с однопочатковых растений, но в случае синхронного цветения всех початков, между ними нет существенных различий (Khatefov et al., 2017). В исследованиях, проводившихся на различных агрофонах, гибриды кукурузы формировали максимальный урожай при высоком агрофоне и образовании двух початков, чем по отдельности каждый початок. Исследования показали, что как первые,

так и вторые початки в совокупности влияют на формирование большего урожая, чем каждый початок способен дать в отдельности (при удалении второго) (Silva et al., 2006; Durieux et al., 1993). Поэтому селекционные исследования направлены на создание гибридов, склонных к двухпочатковости, которые могут в неблагоприятных условиях (сильная засуха) компенсировать неполное развитие верхнего початка формированием нижнего (Kazankov, Ponomarenko, 1979). Двухпочатковые гибриды могут повышать урожай зерна с единицы площади до 40–80% и отличаются повышенной засухоустойчивостью. Они, как правило, высокорослые, имеют прочный стебель, лучшую облиственность и более развитые мужские соцветия, чем однопочатковые формы. В благоприятные годы такие генотипы могут закладывать по 2-3 початка, а в неблагоприятные дают значительно меньше бесплодных растений (Fesenko, 1984).

Выращиваемые на территории Российской Федерации в значительном количестве гибриды кукурузы селекции иностранных компаний, как правило, превосходят отечественные по наиболее важным селекционным показателям, таким как высокая скорость влагоотдачи и повышенное число початков на растении.

Селекция двухпочатковых гибридов кукурузы, ввиду ограниченности ассортимента отечественных родительских форм, сопряжена с определенными трудностями, связанными с пенетрантностью и экспрессивностью признака на различных агрофонах (Khatefov, Matveeva, 2018). Поэтому возрастает значение исследовательских работ по расширению генофонда исходного материала, способствующего фенотипическому проявлению признака увеличенного числа початков на стебле для гибридной селекции. В условиях востребованности высоких урожаев зерна кукурузы многопочатковые гибриды являются одним из резервов устойчивого повышения производства фуражного зерна. Поэтому остается актуальной проблема обеспечения роста урожайности кукурузы за счет введения в селекционные программы новых источников многопочатковости либо перевода существующих однопочатковых инбредных линий в их многопочатковые аналоги.

Цель наших исследований – поиск, выделение и изучение генетических источников признака «многопочатковость» с оптимальным сочетанием селекционно ценных признаков в коллекции кукурузы ВИР.

Материал и методика

Основным источником для получения новых исходных форм с требуемыми для селекции на двухпочатковость признаками послужила мировая коллекция кукурузы Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). Научные исследования выполнены в 2017 г. в агроклиматических условиях Кубанской опытной станции – филиала ВИР в соответствии с «Методическими указаниями ВИР по изучению и поддержанию образцов коллекций кукурузы» (Shmaraev, Matveeva, 1977) и «Международным классификатором СЭВ вида *Zea mays* L.» (Kukekov, 1977).

Для получения нового исходного материала при плановом ежегодном размножении коллекции кукурузы ВИР проведено изучение 596 образцов по 12 основным, наиболее ценным морфологическим признакам и биологическим свойствам растений. В тест-кроссах было задействовано 52 линии многопочатковой кукурузы селекции ВИР, в качестве стерильной материнской формы

была использована однопочатковая линия ГК26М. Испытание гибридного потомства проводили в степной зоне Кабардино-Балкарии на территории Инновационно-производственной агрофирмы «ОТБОР» (ИПА ОТБОР) в 2020 г.

Коэффициент многопочатковости $k_{\text{мп}}$ определяли подсчетом числа початков, собранных с делянки и разделенных на число растений на делянке. Ранжирование линий по типу передачи потомству признака многопочатковости проводили по схеме, предложенной Э. Б. Хатефовым (Khatefov et al., 2020).

1-я группа – F_1 -гибриды с $k_{\text{мп}}$ = материнского типа (не более 1,0 початка);

2-я группа – F_1 -гибриды с $k_{\text{мп}}$ = промежуточного типа (от 1,1 до 1,5 початков);

3-я группа – F_1 -гибриды с $k_{\text{мп}}$ = отцовского типа (от 1,6 до 2,0 початков);

4-я группа – F_1 -гибриды с $k_{\text{мп}}$ = гетерозисного типа (более 2,0 початков).

Почва опытного поля – чернозем типичный, мощный, малогумусный, сформированный на карбонатном суглинке с содержанием гумуса в поверхностном горизонте 4,7–5,3%, реакция почв слабощелочная, pH вытяжки – 6,0–6,1, содержание карбонатов в пахотном слое – 7,1%, глубже более высокое – 13,6–14,9%.

Климат региона проведения исследований умеренно континентальный, отличается неустойчивостью всех климатических элементов. Среднегодовая температура воздуха составляет 10,6°C, годовая сумма осадков – 546 мм. Сумма годовых активных температур равняется 3200–3400°C, продолжительность безморозного периода – 185–190 дней.

Предпосевная подготовка почвы включала следующие агроприемы: осенью, после предшественника (озимая пшеница), проводили обработку дисковым мульчировщиком БДТ-3 и вспашку на глубину 22–25 см плугом ПЛН5-3,5. Весной, при достижении физической спелости почвы, провели сплошную культивацию КПС-4,2 со средними боронами в два следа для выравнивания почвы участка и закрытия влаги. Предпосевную культивацию проводили на глубину 6–8 см, с заделкой почвенного гербицида «Стомп Проф», норма внесения – 3,5 л/га. Посев коллекционных образцов проводили в оптимальные сроки, вручную, в третьей декаде апреля. Глубина посева – 5–6 см, площадь учетной делянки – 4,9 м². Густоту стояния растений, согласно схеме опыта (50–55 тыс. раст./га), устанавливали при ручной прорывке в фазе 4-5 листьев.

Результаты исследований

По результатам изучения выделены 43 образца коллекции кукурузы, характеризующиеся высокими показателями изучаемого признака «число початков на растении», различающихся как по эколого-географическому происхождению, так и по консистенции и окраске зерна.

Определение показателей данного признака проводили по результатам подсчета числа початков на 10 растениях каждого опытного образца коллекции. Затем изученные образцы распределяли по группам согласно полученным данным. Для дальнейшего исследования отбирали лучшие образцы, соответствующие группам с большим (2,2–2,9 поч./раст., балл 7) и очень большим (> 3,0 поч./раст., балл 9) числом початков на растении. Проведенные исследования показали, что доля образцов кукурузы с высокими показателями признака «число по-

чатков» составила 27,8% от общего числа изученных образцов.

Изученные коллекционные образцы представляли 12 стран из основных мировых регионов возделывания культуры. Тем не менее основная часть многопочатковых форм была из России – 9, Бельгии – 9, США – 7, Китая – 5, Украины – 4, а также по несколько образцов (от 1 до 2) из Азербайджана, Аргентины, Германии, Казахстана, Канады, Таджикистана и Туркмении.

Эффективность современной гетерозисной селекции определяется шириной генетического полиморфизма исходного материала, отвечающего комплексным требованиям к характеристикам селекционно ценных признаков и свойств кукурузы (раннеспелость, элементы продуктивности, высота прикрепления початка, устойчивость к полеганию, болезням и вредителям и др.).

Продолжительность вегетационного периода растений – главный биологический и селекционный признак, обуславливающий уровень продуктивности, адаптивность и ареал возделывания сорта или гибрида, который определяет дальнейшее использование образца в селекционной практике (Vavilov, 1966). В Российской Федерации кукуруза может возделываться от 41 до 50 градусов северной широты, при этом группы спелости по ФАО варьируют в пределах 100–600 единиц.

В наших исследованиях проведено распределение многопочатковых образцов по группам спелости ФАО. По длине вегетационного периода изучаемые образцы коллекции разделились на шесть групп (табл. 1).

Основная часть изучаемых образцов кукурузы (18) относилась к среднеранней группе спелости (ФАО-200); к среднеспелой (ФАО-300) отнесено 10 образцов, к раннеспелой (ФАО-100) – два образца.

Среднепоздняя группа (ФАО-400) включала девять образцов, к позднеспелой (ФАО-500) и очень позднеспелой (ФАО-600) группам спелости отнесено по четыре изученных образца коллекции кукурузы.

Следует отметить, что многопочатковые образцы встречаются в каждой группе спелости, что делает возможным привлечение данных образцов в селекционные программы по улучшению урожайности гибридов разных групп спелости. Особый интерес вызывают образцы из раннеспелых групп (ФАО 100-200) в связи высокой потребностью раннеспелых форм в селекционных программах на скороспелость.

Как показывают наблюдения, размах варьирования значений таких морфологических признаков, как «высота растения» и «высота прикрепления початка» многопочатковых форм, достаточно широкий и возрастает в зависимости от увеличения сроков созревания.

Размах варьирования высоты растений находится в пределах от 98 см в группе спелости ФАО-100 до 275 см в группе спелости ФАО-500. Выделены образцы с оптимальной высотой растений, относящихся к среднерослой группе (балл 5, 126–175 см): к-8819, к-9054, к-15269, к-15355, к-15360 (Россия), к-15331, к-15877 (США), к-15442, к-15443, к-15445 (Украина), к-8009 (Казахстан), к-14344 (Канада), к-15195 (Азербайджан), к-15226 (Китай), к-17385 (Аргентина) для использования в селекции зернового направления.

Варьирование признака высоты прикрепления початка у многопочатковых генотипов составила в среднем от 21 см в группе ФАО-100 до 143 см в группе ФАО-400. По результатам изучения выделены образцы с оптимальной для механизированной уборки высотой прикрепления початка (балл 5, 50–70 см): к-8819, к-15269,

Таблица 1. Размах изменчивости основных селекционно ценных признаков многопочатковых образцов кукурузы коллекции ВИР (Кубанская опытная станция ВИР, 2017 г.)**Table 1. The range of variability in main characters useful for breeding among the multiple-ear maize accessions from the VIR collection (Kuban Experiment Station of VIR, 2017)**

ФАО / FAO	Число образцов / Number of accessions	Высота растений, см / Plant height, cm	Высота початка, см / Ear height, cm	Длина початка, см / Ear length, cm	Масса початка, г / Ear weight, g.	Число рядов зерен, шт. / Number of grain rows	Число зерен в ряду, шт. / Number of grains per row	Число початков, шт./раст. / Number of ears per plant
100	2	96–158	21–52	9,4–16,3	28–49	8–14	12–28	2,5–3,0
200	18	112–230	24–110	11,3–22,1	61–161	12–20	13–34	2,5–3,6
300	10	150–260	63–106	9,2–18,4	23–174	10–15	10–34	2,6–3,6
400	9	172–236	68–143	12,3–20,0	44–145	11–16	24–38	2,5–4,0
500	2	142–275	56–135	10,6–20,3	45–146	12–14	18–29	2,5–2,8
600	2	158–210	95–106	12,0–21,5	25–138	13–16	25–30	2,5–4,0

к-15355, к-15360 (Россия), к-14394, к-14904, к-14979, к-14968 (Бельгия), к-15292, к-15391, к-9289, к-15322 (США), к-15439, к-15442, к-15443 (Украина), к-14344 (Канада).

Для селекции на гетерозис большое значение имеют такие составные элементы структуры продуктивности, как длина и масса початка, число рядов зерен и число зерен в ряду початка. Продуктивность растения является количественным признаком, имеющим сложную структуру и функциональную организацию. Формирование элементов структуры продуктивности в значительной мере зависит от генотипа образца и экологических условий (Козубенко, Gurieva, 2000). Включенные в исследование многопочатковые образцы кукурузы существенно различались по признаку «длина початка». Варьирование значений данного признака составило от 9,2 см в группе ФАО-200 до 22,1 см в группе ФАО-300. Отмечено пять генетических источников с высокими показателями (балл 9, > 20 см) длины початка: к-9054 (Россия), к-4535 (США), к-13730 (Китай), к-14817, к-14996 (Бельгия).

По признаку «масса початка» размах значений составил от 23 г (ФАО-300) до 174 г (ФАО-300). Для селекции на продуктивность представляют интерес многопочатковые образцы коллекции, обладающие высокими показателями массы початка (балл 7–9, > 130 г): к-15353 (Россия), к-14902, к-14904, к-14929 (Бельгия), к-15330, к-15332 (США), к-15281 (Канада), к-9257 (Таджикистан).

Признак «число рядов зерен на початке» является одним из важнейших структурных элементов урожая зерна кукурузы. В отличие от других количественных признаков, он отличается довольно высокой стабильностью (Krauchenko, 1981).

Варьирование значений признака «число рядов зерен» многопочатковых образцов коллекции составило от 8 (ФАО-100) до 20 рядов на початке (ФАО-200). Выделены генетические источники с высокими показателями признака (балл 5–9, > 16 рядов зерен): к-14904, к-14979,

к-14968 (Бельгия), к-15442, (Украина), к-15330, к-15322 (США), к-9257 (Таджикистан).

Признак «число зерен в ряду початка» – основной компонент урожайности, так как в значительной мере определяет уровень урожая зерна с растения и урожая зерна с единицы площади (Paritov, 2010).

Варьирование признака «число зерен в ряду початка» у многопочатковых образцов составило от 10 зерен в ряду (ФАО-300) до 38 зерен (ФАО-400). Отмечены генетические источники признака «число зерен в ряду початка», превышающие стандарт (балл 5–9, > 31 зерен в ряду): к-14904, к-14996 (Бельгия), к-15639, к-15353 (Россия), к-15330, к-15322 (США), к-15344, к-15281 (Канада), к-15439 (Украина), к-9357 (Таджикистан), к-15237 (Туркмения).

Изучение признака «число початков на растении» позволило установить, что наиболее высокими показателями признака обладали образцы группы ФАО 400-500 ($k_{\text{мн}} = 4,0$) и ФАО 200-300 ($k_{\text{мн}} = 3,6$). Выделены генетические источники многопочатковости, отличающихся максимальными показателями признака «число початков на растении»: к-15443, к-15445 (Украина), к-15347 (Китай), к-15487 (Россия), к-15877 (США).

Наличие образцов с большим числом початков на растении отмечено практически у всех подвидов кукурузы коллекции ВИР (табл. 2).

Наибольшее количество многопочатковых образцов отмечено в подвиде с зубовидным типом зерна (subsp. *indentata* (Sturt.) Zhuk.) – 20 образцов и кремнистым (subsp. *indurate* (Sturt.) Zhuk.) – 16 образцов; в промежуточном, кремнисто-зубовидном (subsp. *semindentata* Kulesh.) типе зафиксировано пять образцов и по одному образцу обнаружено среди подвидов с лопающимся (subsp. *everta* (Sturt.) Zhuk.) и сахарным (subsp. *saccharata* (Körn.) Zhuk.) типом зерновки. Максимальные показатели числа початков на растении отмечены в подвидах с кремнистым типом, желтым цветом зерна и лопающимся типом, крас-

Таблица 2. Характеристика многопочатковых образцов подвидов кукурузы в коллекции ВИР
(Кубанская опытная станция ВИР, 2017 г.)

Table 2. Description of multiple-ear maize subspecies accessions from the VIR collection
(Kuban Experiment Station of VIR, 2017)

Подвид / Subspecies	Число образцов по подвидам / Number of accessions by subspecies	Цвет алейрона / Aleurone color	Число образцов по цвету алейрона / Number of accessions per aleurone color	$k_{\text{мп}} /$ $k_{\text{мс}}$
<i>indurata</i> (Sturt.) Zhuk.	16	белая	3	2,6–3,0
<i>indurata</i> (Sturt.) Zhuk.		желтая	11	2,5–4,0
<i>indurata</i> (Sturt.) Zhuk.		пестрая	2	2,6–3,0
<i>indentata</i> (Sturt.) Zhuk.	20	белая	3	3,0–3,4
<i>indentata</i> (Sturt.) Zhuk.		желтая	16	2,5–3,6
<i>indentata</i> (Sturt.) Zhuk.		пестрая	1	2,6
<i>semindentata</i> Kulesh.	5	желтая	4	2,6–3,6
<i>semindentata</i> Kulesh.		пестрая	1	3,0
<i>everta</i> (Sturt.) Zhuk.	1	красная	1	4,0
<i>saccharata</i> (Körn.) Zhuk.	1	желтая	1	2,8

ным цветом зерна с $k_{\text{мп}} = 4,0$, а также в подвиде с зубовидным типом, желтым цветом зерна и кремнисто-зубовидным типом, желтым цветом зерна с $k_{\text{мп}} = 3,6$.

Изучение первых экспериментальных гибридов между многопочатковыми и однопочатковыми линиями кукурузы показало, что признак многопочатковости передается потомству сложным комплексом генов преимущественно с промежуточным (неполным) типом доминирования. Гибриды от таких скрещиваний, в зависимости от генотипа родительских линий, могут формиро-

вать от 1,0 до 2-3 и более початков на гибридном растении (рис. 1, рис. 2). При этом размеры початков также превышают исходные родительские формы (рис. 3).

На основе данных расщепления признака «многопочатковость» в потомстве F_1 гибридов коллекционные образцы распределены на четыре группы (Khatefov et al., 2020) (табл. 3). Из 52 тест-кроссов удалось выделить как наиболее ценные для селекции шесть линий, характеризующихся гетерозисным типом наследования многопочатковости в гибридных комбинациях. Эти линии спо-

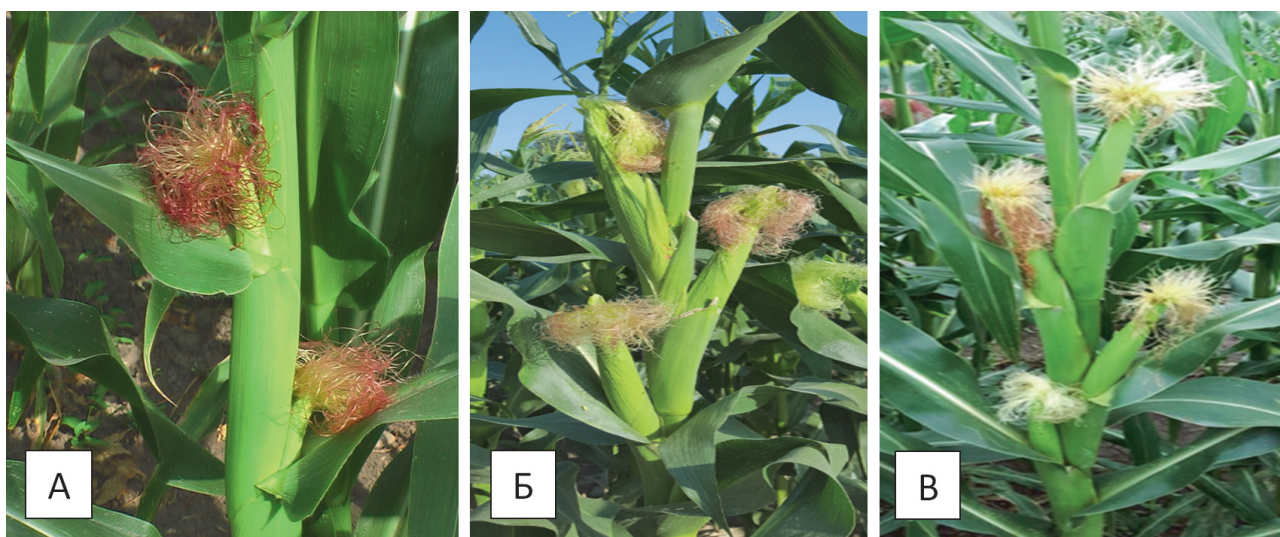


Рис. 1. Фаза цветения двухпочатковой (А), трехпочатковой (Б) и четырехпочатковой (В) кукурузы
Fig. 1. The flowering phase in maize with two (А), three (Б) and four (В) ears per plant

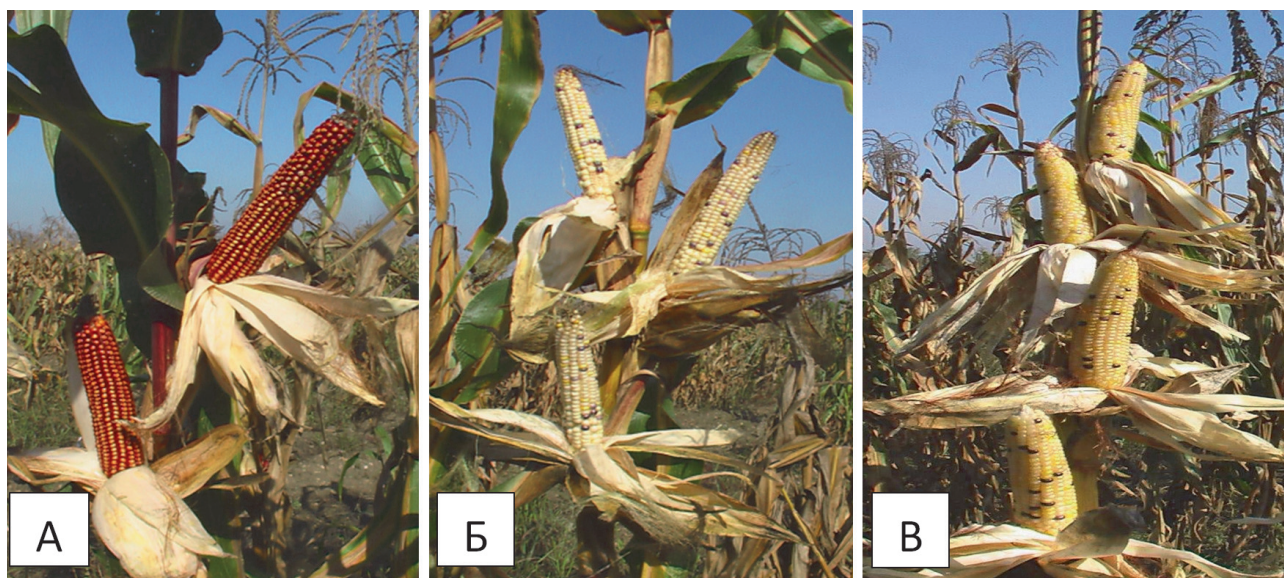


Рис. 2. Фаза полной спелости початка у двухпочатковой (А), трехпочатковой (Б) и четырехпочатковой (В) кукурузы

Fig. 2. The phase of full ear ripeness in maize with two (A), three (Б) and four (B) ears per plant



♂ Многопочатковая форма ♀ Однопочатковая форма



Гибрид F1

Рис. 3. Размеры початков родительских форм и гибридного двухпочаткового потомства при скрещивании между многопочатковой (♂) и однопочатковой (♀) линиями

Fig. 3. Ear sizes of the parental forms and their hybrid two-ear progeny from crosses between multiple-ear (♂) and single-ear (♀) lines

Таблица 3. Число линий кукурузы ранжированных по способности передавать признак многопочатковости гибридному потомству в тест-кроссах с однопочатковой линией**Table 3. The numbers of maize lines ranked according to their ability to transfer the trait of prolificacy to their hybrid progeny in test crosses with a single-ear line**

$k_{\text{мн}}$ отцовской линии/ $k_{\text{мс}}$ of the ♂ line	Тип многопочатковости / Type of prolificacy			
	материнский/ maternal	промежуточный/ intermediate	отцовский/ paternal	гетерозисный/ heterotic
2,0	2	5	2	1
2,2	2	4	1	0
2,5	4	6	1	2
2,7	1	7	4	2
3,0	0	4	3	1
Всего / Total	9	26	11	6

способны формировать два и более початка на гибридном растении при скрещивании с однопочатковой материнской формой. Таким образом, можно предположить, что подбор обоих родителей с признаком «многопочатковости гетерозисного типа» и относящихся в паре к различным гетерозисным группам (Iowa Stiff Stalk Synthetic, Iodent, Lancaster, Reid Yellow Dent, Mindszenpuszta, Lacaune) позволит существенно повысить количество початков и урожай зерна на гибридном растении кукурузы.

Заключение

Изучение коллекции кукурузы в условиях степной зоны на Кубанской опытной станции – филиале ВИР (Краснодарский край) позволило выделить 43 генетических источника многопочатковости в различных группах спелости по ФАО, которые характеризуются высоким потенциалом повышения урожайности кукурузы. Из них: 14 источников характеризуются оптимальной высотой растения, 16 источников – оптимальной высотой прикрепления початка, 33 источника – с ценными элементами структуры урожайности (длины початка – 5, массы початка – 8, рядов зерен на початке – 9, зерен в ряду початка – 11). Изучение части набора (52 образца) в тест-кроссах с однопочатковой линией показало, что образцы распределились по четырем возможным группам, из которых 9 образцов давали потомство материнского типа, формировавшее не более одного початка; потомки 26 образцов отнесены к промежуточному типу и формируют от 1,1 до 1,5 початков на растении; потомки 11 образцов отнесены к отцовскому типу и формируют от 1,6 до 2,0 початков на растении и 6 образцов было гетерозисного типа, характеризующегося более чем двумя початками на растении.

Проводимые исследования коллекции кукурузы ВИР свидетельствуют, что возможности использования имеющихся источников в гетерозисной селекции гибридов различных групп спелости далеко не исчерпаны и зависят от степени генетического разнообразия исходного материала.

Выделенные источники селекционно ценных признаков и свойств могут быть включены в селекционные программы гибридной кукурузы ЮФО и других регионов Российской Федерации.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0006 "Search for and viability maintenance, 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".

References / Литература

- Akhvlediani O.A. Individual productivity of plants and yield structure components (Individualnaya produktivnost rasteniy i element struktury urozhaya). *Kukuruza = Maize*. 1984;5:26. [in Russian] (Ахледиани О.А. Индивидуальная продуктивность растений и элементы структуры урожая. *Кукуруза*. 1984;5:26).
- Basavanneppa M.A., Kuchanur H.P. Productivity and profitability of maize as influenced by genotypes, spacing and nutrient levels under irrigated situation. *International Journal of Chemical Studies*. 2020;8(3):1626-1629. DOI: 10.22271/chemi.2020.v8.i3v.9428
- Durieux R.P., Kamprath E.J., Moll R.H. Yield contribution of apical and subapical ears in prolific and nonprolific born. *Agronomy Journal*. 1993;85(3):606-610. DOI: 10.2134/agronj1993.00021962008500030016x
- Fasoula D.A., Fasoula V.A. Bridging the productivity gap between maize inbreds and hybrids by replacing gene and genome dichotomization with gene and genome. *Maydica*. 2005;50:49-61.
- Fesenko I.V. Development and studying of source material for maize breeding for the two-ear trait in the environments of the south of the Ukrainian SSR (Sozdaniye i izucheniye iskhodnogo materiala dlya seleksii kukuruzy na dvukhpochatkovost v usloviyakh yuga USSR) [dissertation].

- Odessa; 1984. [in Russian] (Фесенко И.В. Создание и изучение исходного материала для селекции кукурузы на двухпочатковость в условиях юга УССР: дис. ... канд. с.-х. наук. Одесса; 1984). URL: <https://www.dissertat.com/content/sozdanie-i-izuchenie-iskhodnogo-materiala-dlya-selektcii-kukuruzy-na-dvukhpochatkovost-v-usl> [дата обращения: 10.10.2018].
- Jampatong S., Darrah L.L., Krause G.F., Barry B.D. Effect of one- and two-eared selection on stalk strength and other characters in maize. *Crop Science*. 2000;40(3):605-611. DOI: 10.2135/cropsci2000.403605x
- Kazankov A.F. Ponomarenko L.A. Development of two-ear maize lines and assessment of their combining ability (Sozdaniye dvukhpochatkovykh liniy kukuruzy i otsenka ikh kombinatsionnoy sposobnosti). In: *Collection of papers for the 80th birthday of M.I. Khadzhinov, Academician of VASKhNIL (Sbornik k 80-letiyu akademika VASKhNIL M.I. Khadzhinov)*. Krasnodar; 1979. p.70-80. [in Russian] (Казанков А.Ф. Пономаренко Л.А. Создание двухпочатковых линий кукурузы и оценка их комбинационной способности. Сборник к 80-летию академика ВАСХНИЛ М.И. Хаджинова. Краснодар; 1979. С.70-80).
- Khatefov E.B., Kanukova Zh.O., Valyannikova T.I., Golovina M.A. Breeding new lines of maize based on the donor's multiple-ear trait from the collection of corn, VIR. *International Scientific Researches*. 2017;2(31):115-119. [in Russian] (Хатефов Э.Б., Канукова Ж.О., Вальяникова Т.И., Головина М.А. Селекция новых линий кукурузы на основе доноров многопочатковости из коллекции кукурузы ВИР. *Международные научные исследования*. 2017;2(31):115-119).
- Khatefov E.B., Matveeva G.V. Creating and study of multi-cob corn lines. *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2018;25(2):234-243. [in Russian] (Хатефов Э.Б., Матвеева Г.В. Создание и изучение многопочатковых линий кукурузы. *АПК России*. 2018;25(2):234-243).
- Khatefov E.B., Matveeva G.V., Appaev S.P., Shomakhov B.R., Kushkhova R.S. Kudaev R.A. et al. Breeding of maize with synchronous flowering of ears on the basis of distant hybrids with teosinte. *Kukuruza i sorgo = Maize and Sorghum*. 2020;(1):3-11. [in Russian] (Хатефов Э.Б., Матвеева Г.В., Аппаев С.П., Шомахов Б.Р., Кушхова Р.С. Кудав Р.А. и др. Селекция многопочатковой кукурузы с синхронным цветением початков на основе отдаленных гибридов с теосинте. *Кукуруза и сорго*. 2020;(1):3-11). DOI: 10.25715/KS.2020.1.57954
- Kozubenko L.V., Gurieva I.A. Maize breeding for earliness (Selektsiya kukuruzy na skorospelost). Kharkiv; 2000. [in Russian] (Козубенко Л.В., Гурьева И.А. Селекция кукурузы на раннеспелость. Харьков; 2000).
- Kravchenko R.V. Agrobiological substantiation of obtaining stable maize grain harvests in the steppe zone of the Central Ciscaucasia (Agrobiologicheskoye obosnovaniye polucheniya stabilnykh urozhayev zerna kukuruzy v usloviyakh stepony zony Tsentralnogo Predkavkazyu). Stavropol; 2010. [in Russian] (Кравченко Р.В. Агробиологическое обоснование получения стабильных урожаев зерна кукурузы в условиях степной зоны Центрального Предкавказья. Ставрополь; 2010).
- Kukekov V.G. (comp.). Broad unified COMECON list of descriptors and international COMECON list of descriptors for sp. *Zea mays* L. Leningrad: VIR; 1977. [in Russian] (Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ видов *Zea mays* L. / сост. В.Г. Кукеков. Ленинград: ВИР; 1977).
- Liu J., Fernie A.R., Yan J. The past, present, and future of maize improvement: domestication, genomics, and functional genomic routes toward crop enhancement. *Plant Communications*. 2020;1(1):100010. DOI: 10.1016/j.xplc.2019.100010
- Panfilova O.N., Chugunova E.V., Derunova S.N. Source material for the selection of corn for drought tolerance. *The Agrarian Scientific Journal*. 2020;(2):29-37. [in Russian] (Панфилова О.Н., Чугунова Е.В., Дерунова С.Н. Исходный материал для селекции кукурузы на засухоустойчивость. *Аграрный научный журнал*. 2020;(2):29-37). DOI: 10.28983/asj.y2020i2pp29-37
- Paritov A.Yu. Selection on many mealies as one of methods to increase the productivity of corn. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2010;12(1-3):791-794. [in Russian] (Паритов А.Ю. Селекция на многопочатковость как один из методов повышения урожайности кукурузы. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2010;12(1-3):791-794).
- Sangoi L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Ciência Rural*. 2000;31(1):159-168. DOI: 10.1590/S0103-84782001000100027
- Shmaraev G.E. Maize (phylogeny, classification, breeding) (Kukuruza [filogeniya, klassifikatsiya, selektsiya]). Moscow; 1975. [in Russian] (Шмараев Г.Е. Кукуруза (филогения, классификация, селекция). Москва; 1975).
- Shmaraev G.E., Matveeva G.V. Guidelines for the study and maintenance of maize collection accessions (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i podderzhaniiu obraztsov kolleksii kukuruzy). Leningrad: VIR; 1985. [in Russian] (Шмараев Г.Е., Матвеева Г.В. Методические указания по изучению и поддержанию образцов коллекции кукурузы. Ленинград: ВИР; 1985).
- Silva P.S.L., Silva P.I.B., de Sousa A.K.F., Gurgel K.M., Pereira Filho I.A. Green ear yield and grain yield of maize after harvest of the first ear as baby corn. *Horticultura Brasileira*. 2006;24(2):151-155. DOI: 10.1590/S0102-05362006000200005
- Vavilov N.I. Selected works (Izbrannye Trudy). Moscow: Kolos; 1966. [in Russian] (Вавилов Н.И. Избранные труды. Москва: Колос; 1966).
- Yang C.J., Samayoa L.F., Bradbury P.J., Olukolu B.A., Xue W., York A.M, et al. The genetic architecture of teosinte catalyzed and constrained maize domestication». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2019;116(12):5643-5652. DOI: 10.1073/pnas.1820997116

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Бойко В.Н. Хатефов Э.Б. Исходный материал для гибридной селекции кукурузы на многопочатковость из коллекции ВИР. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021; 182(4):27-35. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-27-35

Boyko V.N., Khatefov E.B. Source material from the VIR collection for hybrid breeding of multiple-ear maize. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(4):27-35. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-27-35

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-27-35>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Khatefov E.B. <https://orcid.org/0000-0001-5713-2328>

Boyko V.N. <https://orcid.org/0000-0001-7919-1302>

Применение многомерного анализа для выявления взаимосвязей хозяйственно ценных признаков вигны и дифференциации сортов по овощному и зерновому направлениям использования

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-36-47

УДК 635.654.3: 524.01:57.0871

Поступление/Received: 30.03.2021

Принято/Accepted: 11.05.2021



М. О. БУРЛЯЕВА*, М. В. ГУРКИНА,
Е. В. МИРОШНИЧЕНКО

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
* [✉ m.burlyayeva@vir.nw.ru](mailto:m.burlyayeva@vir.nw.ru)

Application of multivariate analysis to identify
relationships among useful agronomic
characters of cowpea and differentiation
of cultivars for vegetable and grain uses

М. О. BURLYAEVA*, M. V. GURKINA,
E. V. MIROSHNICHENKO

N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
* [✉ m.burlyayeva@vir.nw.ru](mailto:m.burlyayeva@vir.nw.ru)

Актуальность. Вигна (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) – теплолюбивая культура, в большинстве стран ее возделывают для получения зерновой и овощной продукции. Положительные результаты выращивания вигны в открытом грунте в южных регионах России, возможность ее культивирования на неплодородных почвах в жарких и сухих климатических условиях делают актуальным создание новых сортов, пригодных для более широкого внедрения в сельскохозяйственное производство нашей страны. При создании сортов первостепенное значение имеет знание закономерностей изменчивости взаимосвязей хозяйственно ценных признаков и их особенностей у сортов разных направлений использования (зернового и овощного). Ускорение селекционного процесса в большой степени зависит и от знания признаков, позволяющих дифференцировать исходный материал по целевому назначению.

Материалы и методы. В Астраханской области в течение трех лет изучено 315 образцов вигны разного географического происхождения из коллекции ВИР. Исследовано восемь хозяйственно ценных признаков. Изменчивость и взаимосвязи признаков у сортов зернового и овощного использования оценены с помощью многомерных статистических методов.

Результаты. Выявлены признаки, дифференцирующие зерновые и овощные сорта; к ним относятся: тип поверхности семенной кожуры, степень развития пергаментного слоя и волокна в створках боба, длина боба. Рассчитаны дискриминантные функции, по которым можно идентифицировать и классифицировать образцы по зерновому и кормовому направлениям использования. Определен признак (наличие углублений или продольных штрихов на поверхности семенной кожуры), диагностирующий овощные сорта по семенам. Установлены признаки, взаимосвязанные с высокой семенной продуктивностью. Для зерновых сортов таким признаком является масса 1000 семян, для овощных – крупносемянность и длинноплодность бобов.

Ключевые слова: *Vigna unguiculata* (L.) Walp., продуктивность, фенология, изменчивость, корреляции, дискриминантный анализ, факторный анализ.

Background. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) is a thermophilic crop; in most countries it is grown for grain and vegetable uses. Positive results of open-field cowpea production in the southern regions of Russia and the possibility of its cultivation on infertile soils in hot and dry climate imply the need to develop new cultivars suitable for wider introduction into Russian agriculture. It is of paramount importance for cowpea breeders to know the patterns of variability in the relationships among agronomic traits and their characteristics in cultivars grown for different uses (grain and vegetable). Besides, acceleration of the breeding process to a large extent depends on the knowledge of the traits that make it possible to differentiate the source material according to its intended purpose.

Materials and methods. For three years, 315 cowpea accessions of various origin from the VIR collection were studied in Astrakhan Province, Russia. Eight useful agronomic characters were examined. The variability and relationships of these characters were assessed in cultivars grown for grain and vegetable purposes using multivariate statistical analyses.

Results and discussion. The characters that differentiate grain and vegetable cowpea accessions were identified: the type of seed coat surface, the presence of fiber in ventral and dorsal pod sutures and a sclerenchyma layer in pods valves, and pod length. Discriminant functions were calculated for identification and classification of accessions according to their grain and forage uses. The character (presence of depressions or longitudinal striae on the seed coat surface) diagnosing vegetable cowpea cultivars was pinpointed. Characters associated with high seed yield were identified. For grain cultivars such character is the weight of 1000 seeds, while for vegetable cultivars it is a large-seeded and long-fruit pod.

Key words: *Vigna unguiculata* (L.) Walp., yield, phenology, variability, correlations, discriminant analysis, factor analysis.

Введение

Вигна (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) – культура многоцелевого использования (зернового, кормового, овощного, агротехнического и др.), распространенная в субтропических и тропических регионах Старого и Нового Света (Maxted et al., 2004). Она входит в пятерку самых важных бобовых в мире и считается лучшей после сои для использования в севооборотах с зерновыми культурами (Smýkal et al., 2014). Популярность вигны в регионах, где ее выращивают, традиционно обеспечивают высокая продуктивность, питательность семян и бобов, устойчивость ко многим болезням и нетребовательность к условиям произрастания: она хорошо переносит засуху, жару и низкое плодородие почвы, может расти даже на песчаной почве (Maxted et al., 2004; Silva et al., 2018).

Культивируемые формы вида делят на четыре группы сортов (cultivar groups): *bi-flora*, *sesquipedalis*, *textilis* и *unguiculata* (Penaar, van Wyk, 1992). Зерновые сорта (коровий горох) относят к группам *unguiculata* и *bi-flora*, овощные (спаржевую вигну) – к *sesquipedalis*. Сорта из группы *textilis* распространены только в Нигерии, где из длинных цветоносов растений изготавливают прочные волокна. В странах Африки к югу от Сахары, в Южной и Центральной Америке, на юге Соединенных Штатов и Европы вигну предпочитают выращивать на семена, в Юго-Восточной Азии – на овощную продукцию. В основном в мире создаются сорта овощного и зернового направления использования.

В России интродукционное изучение вигны было начато в начале прошлого века: испытывали как зерновые, так и овощные сорта. В СССР основными территориями, где выращивали культуру, были республики Средней Азии, Грузия, Азербайджан, Армения, Молдавия, юг Украины и Азово-Черноморский край (Pavlova, 1937). В настоящее время вид с успехом продвигается в более северные районы. Известны успешные опыты по апробации сортов в открытом грунте на юге Дальнего Востока, в При-

каспийской низменности, Нижнем Поволжье, Дагестане, Ставропольском и Краснодарском краях (Burlyayeva et al., 2015; Zhuzhukin, Bagdalova, 2017; Efremova et al., 2019; Shuaibova et al., 2020), а также в условиях теплицы в Сибири (Fotev, Belousova, 2010). В связи с возрастающим интересом населения нашей страны к *V. unguiculata* возникает необходимость в новых сортах, приспособленных к разным эколого-географическим условиям, специализированных по направлениям использования. Особенно актуально создание сортов вигны для областей с повышенными температурами и неустойчивым увлажнением, где культура может возделываться как альтернатива фасоли, посевы которой плохо переносят такие условия и имеют более низкую продуктивность.

Образцы вигны в коллекции ВИР отличаются значительным разнообразием по происхождению, форме куста растений, типу роста, длине вегетационного периода, характеристикам бобов и семян. Это позволяет полноценно оценить изменчивость и взаимосвязи хозяйственно ценных, морфологических и фенологических признаков в различных группах сортов (cultivar groups) и разрабатывать сорта, удовлетворяющие разные запросы потребителей сельскохозяйственной продукции, в том числе и актуальные для России сорта зернового и овощного использования.

В идеале зерновые сорта должны иметь кустовую форму растения, детерминантный тип роста, дружное созревание семян, быть средне- или скороспелыми, продуктивными (рис. 1, а). Овощные сорта должны характеризоваться мясистыми длинными бобами, не содержащими в створках пергаментного слоя и волокна. По типу роста могут быть двух типов. К первому типу относятся сорта, которые выращиваются, чтобы получить продукцию длительное время. Они имеют незаконченный тип роста и вьющиеся побеги (рис. 1, б). Второй тип имеет кустовую форму, более длинные цветоносы, удерживающие бобы над поверхностью растений (рис. 1, в).

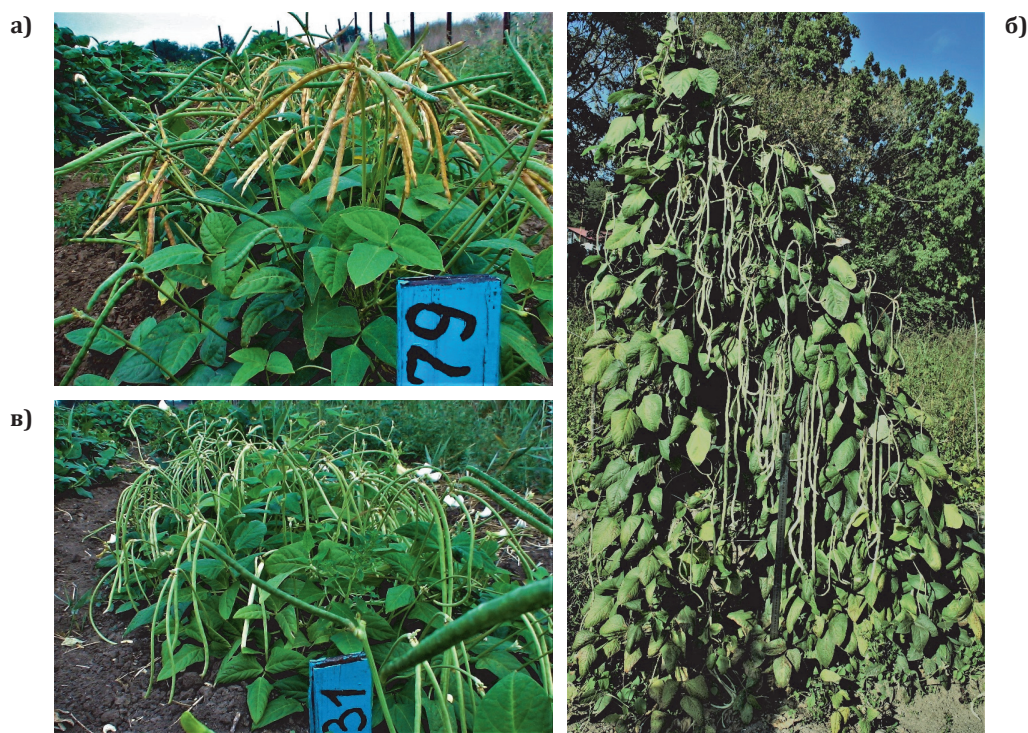


Рис. 1. Образцы *Vigna unguiculata* (L.) Walp. разных направлений использования: а – зерновые, б и в – овощные
Fig. 1. Accessions of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. for different uses: а – grain, б and в – vegetable

Основная цель в селекции вигны, как и любой другой культуры, – высокая урожайность. Знание связей элементов продуктивности с другими хозяйственно ценными признаками полезны при разработке урожайных сортов. Изучение корреляций и поиск признаков-индикаторов, по которым можно вести отбор образцов с необходимыми характеристиками, упрощает селекционный процесс. При исследовании количественных признаков овощных и зерновых образцов вигны нами было замечено, что сорта разных направлений использования характеризуются некоторыми различиями не только по параметрам морфологических и хозяйственно ценных характеристик, но и по взаимосвязям между ними.

В связи с вышесказанным целью нашего исследования стало:

– изучение изменчивости фенологических, морфологических и хозяйственно ценных признаков, позволяющих дифференцировать исходный материал для селекции зерновых и овощных сортов;

– анализ изменчивости структуры корреляций изученных признаков и выделение признаков-индикаторов, упрощающих отбор и селекцию высокопродуктивных образцов для разных направлений использования.

Материалы и методы

Изучение проводили в Астраханской области на Астраханской опытной станции – филиале ВИР (46°07′ с. ш., 41°01′ в. д.). Климат Астраханской области сухой, резко континентальный. Почвы опытного поля аллювиально-луговые, тяжелосуглинистые, слабозасоленные (хлоридно-сульфатный тип засоления). Сумма активных температур воздуха (выше 15°C) в течение вегетационного периода колебалась от 3288,4 до 3491,3°C. Годовая сумма осадков составляла 94,0–223,0 мм (RIHMI–WDC..., 2014). Посев производили во влажный прогретый слой почвы, когда среднесуточная температура воздуха достигала 14–16°C. Способ посева – широкорядный. Семена высевали вручную, ширина между рядами – 140 см, расстояние между семенами в ряду – 10 см. Глубина заделки семян – 3–5 см. Образцы культивировали в условиях орошения: за вегетационный период производилось шесть поливов дождевальными машинами, в среднем 250–300 м³/га. Для опыта было отобрано 315 образцов разного географического происхождения, из них 151 овощного и 164 зернового направления использования.

Исследования образцов осуществляли в условиях открытого грунта в соответствии с методическими указаниями по изучению коллекции зерновых бобовых культур (Vishnyakova et al., 2018) и Международным классификатором видов *Vigna Savi* (Burlyayeva et al., 2016). Оценивали в течение 2008–2010 гг. следующие морфологические, фенологические и хозяйственно ценные признаки: «продолжительность вегетационного периода», «длина растения», «высота травостоя», «продуктивность семян с растения», «масса 1000 семян», «длина боба», «степень развития волокна и пергаментного слоя в створках незрелого боба», «тип поверхности семян» (степень и форма углублений на семенной кожуре).

Статистический анализ данных проводили по средним для каждого образца. Факторный анализ (principal factor analysis, PFA), дискриминантный анализ, корреляционный анализ (ранговые коэффициенты корреляции – Spearman Rank Order Correlations) выполняли с использованием пакета программ Statistica 7. Достоверность влияния принадлежности генотипа к определен-

ному направлению использования на характер изменчивости морфологических и хозяйственно ценных признаков устанавливали используя однофакторный дисперсионный анализ. Долю влияния фактора (η^2 – intraclass correlation, выраженный в %) по Фишеру вычисляли по формуле:

$$\eta^2 = \frac{SS_{factor}}{SS_{total}} \times 100\%,$$

где: η^2 , % – доля влияния фактора, SS_{factor} – факторная сумма квадратов отклонений, SS_{total} – общая сумма квадратов отклонений (Schmidt, 1984; Ivanter, Korosov, 2003).

Влияние направления использования на изученные признаки было также оценено с помощью критерия Краскела – Уоллиса (Kruskal–Wallis), аналога однофакторного дисперсионного анализа в непараметрической статистике (Kruskal–Wallis H).

Группы признаков, наиболее связанных между собой, определяли анализируя системы корреляций при построении корреляционных колец (Terentyev, 1959; Schmidt, 1984).

Для оценки сходства систем связей по структуре вычисляли коэффициент корреляции между z-преобразованными матрицами (Rostova, 2002). Для приближения распределения коэффициентов корреляции (r) к нормальному вводили z-преобразование Р. Фишера:

$$z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r}$$

Каждую из сравниваемых матриц перестраивали в вектор. Из полученных векторов формировали новую базу данных, в которой каждая матрица рассматривалась как признак, а отдельные коэффициенты этой матрицы – как значения признака. Сравнение матриц по структуре связей проводили с помощью метода главных компонент. Первую главную компоненту рассматривали как фактор сходства матриц, соответствующую ей долю дисперсии использовали как показатель степени сходства сравниваемых матриц. Вторую главную компоненту интерпретировали как показатель различий в структуре матриц. Процент дисперсии более 90% считали показателем значительного сходства матриц, менее 75–80% – невысокого (Rostova, 2002). Детальное изучение изменчивости структуры взаимосвязей между признаками у образцов зернового и овощного использования проводили сравнивая корреляционные кольца.

Результаты и обсуждение

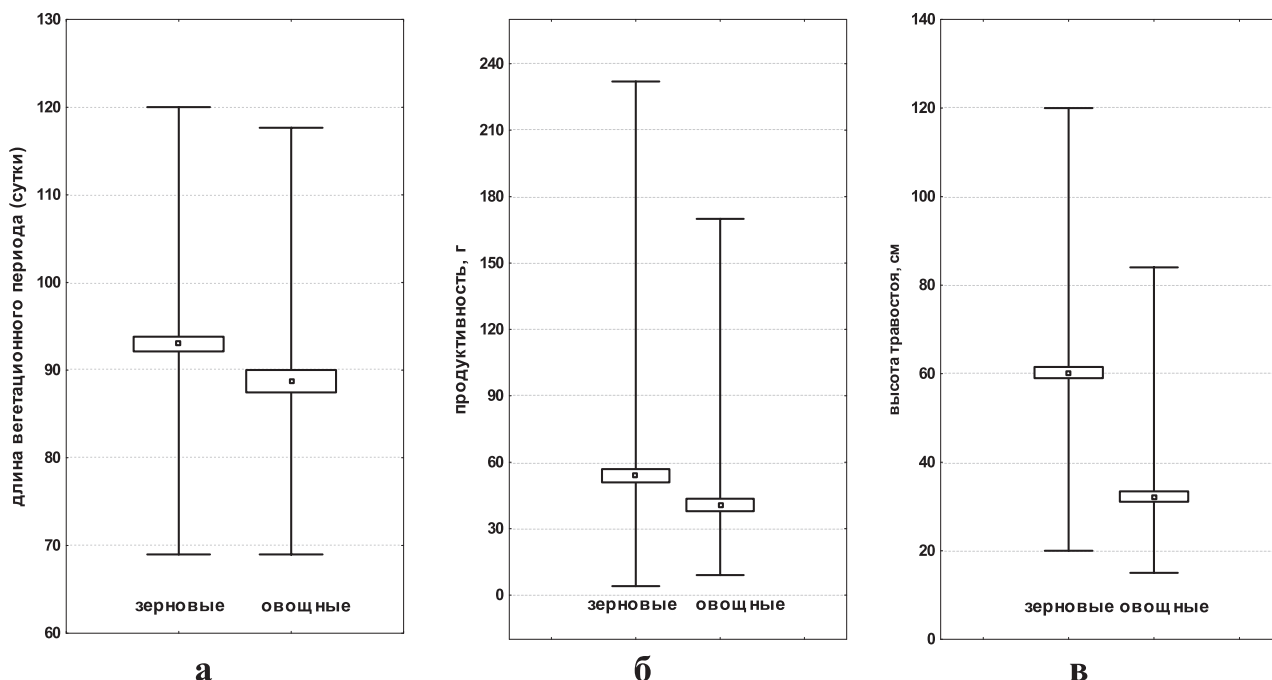
В ходе экспериментов было отмечено, что образцы зернового направления использования отличаются от овощных по длине вегетационного периода, размерам и морфологическому строению бобов и семян, форме куста растения (табл. 1, рис. 2). Зерновые сорта характеризовались различной формой растения (чаще наблюдалась кустовая), короткими бобами, широким диапазоном изменчивости продуктивности семян и массы 1000 семян. Пергаментный слой и волокна в створках боба имели среднее и сильное развитие, поверхность семян была гладкой, реже мелкосетчатой. Овощные сорта выделялись более длинными бобами, содержащими небольшое количество волокна и тонкий пергаментный слой; у ряда образцов склеренхима в створках практически отсутствовала. Семена имели неровную поверхность, величина и число углублений на семенной кожуре достаточно сильно варьировали. Продуктивность семян и масса

Таблица 1. Изменчивость морфологических, фенологических и хозяйственно ценных признаков у образцов вигны зернового и овощного направления использования**Table 1.** Variability of morphological, phenological and agronomic characters in cowpea accessions for grain and vegetable uses

Направление использования	Mean ± Std. Err.	Min	Max	Mean ± Std. Err.	Min	Max
Признак	Длина вегетационного периода, сут.			Продуктивность семян с растения, г		
Зерновое	93,0 ± 0,8	69,0	120,0	53,9 ± 3,0	4,0	232,0
Овощное	88,8 ± 1,3	69,0	117,7	40,7 ± 2,8	9,0	170,0
Все направления	91,7 ± 0,7	69,0	120,0	49,9 ± 2,3	4,0	232,0
Признак	Высота растения (травостоя), см			Длина боба, см		
Зерновое	60,3 ± 1,3	20,0	120,0	138,8 ± 2,8	30,0	250,0
Овощное	32,2 ± 1,2	15,0	84,0	126,3 ± 4,7	40,0	285,0
Все направления	51,7 ± 1,2	15,0	120,0	135,0 ± 2,5	30,0	285,0
Признак	Масса 1000 семян, г			Длина боба, см		
Зерновое	138,5 ± 2,8	50,0	300,0	17,2 ± 0,24	8,0	21,0
Овощное	145,7 ± 2,6	80,0	210,0	38,9 ± 1,5	20,0	80,6
Все направления	140,7 ± 2,1	50,0	300,0	23,8 ± 0,75	8,0	80,6

Примечание: **Mean** – среднее значение; **Std.Err.** – стандартная ошибка от среднего; **Min** – минимальное значение; **Max** – максимальное значение

Note: **Mean** – mean value; **Std.Err.** – error of the mean; **Min** – minimum value; **Max** – maximum value

**Рис. 2.** Изменчивость морфологических, фенологических и хозяйственно ценных признаков у образцов вигны зернового и овощного направления использования:

а – длина вегетационного периода, сут.; **б** – продуктивность, г; **в** – высота травостоя, см;
Mean – среднее, Min – минимум, Max – максимум, SE – стандартная ошибка среднего

Fig. 2. Variability of morphological, phenological and agronomic characters in cowpea accessions for grain and vegetable uses:

а – days from sprouting to maturation; **б** – seed yield per plant (g); **в** – grass stand height (cm);
Min – minimum, Max – maximum, SE – standard error of the mean

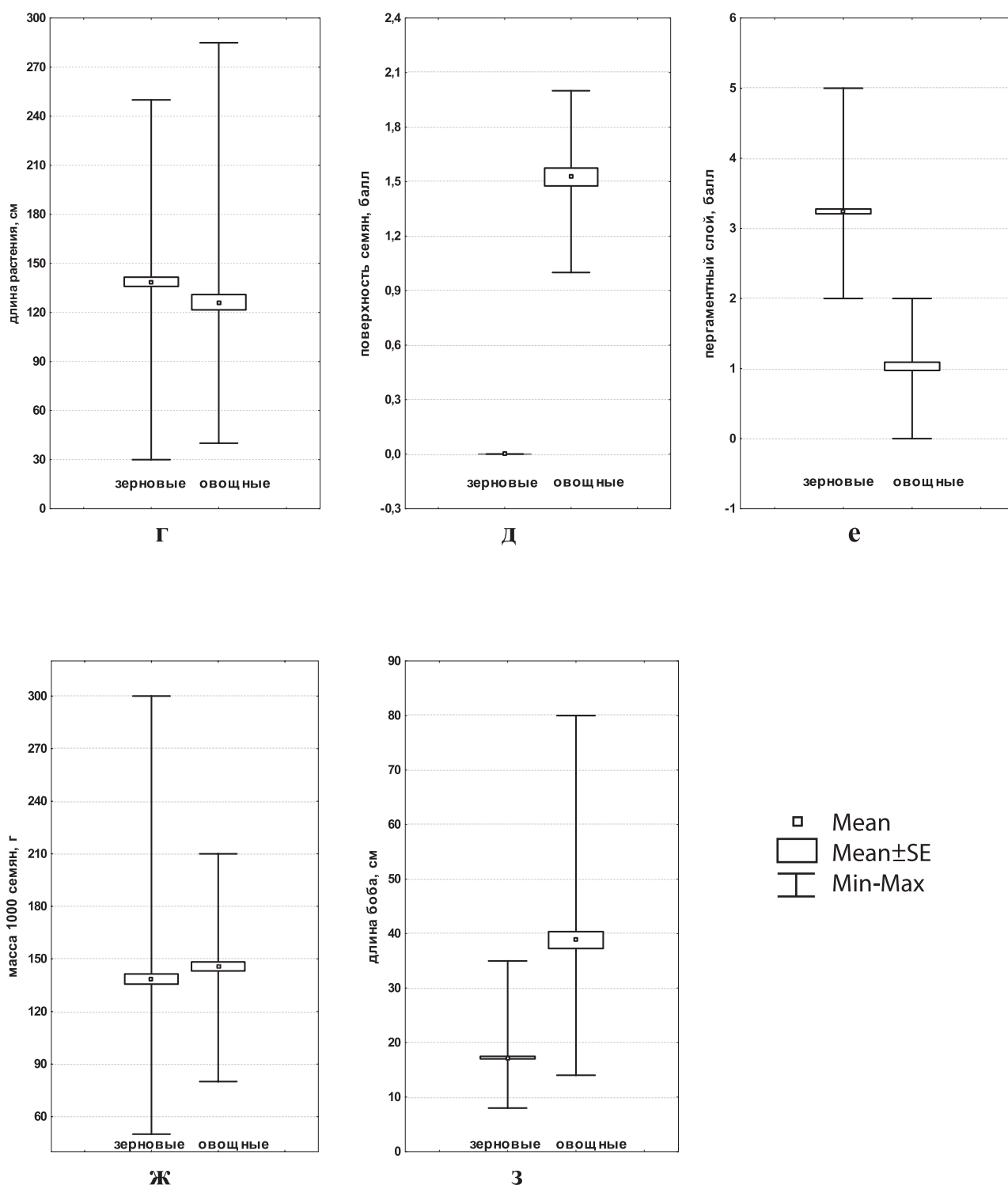


Рис. 2. Изменчивость морфологических, фенологических и хозяйственно ценных признаков у образцов вигны зернового и овощного направления использования:

г – длина растения, см; д – тип поверхности семян, балл; е – степень развития волокон и пергаментного слоя в створках боба, балл; ж – масса 1000 семян, г; з – длина боба, см;
 Mean – среднее, Min – минимум, Max – максимум, SE – стандартная ошибка среднего

Fig. 2. Variability of morphological, phenological and agronomic characters in cowpea accessions for grain and vegetable uses:

г – plant length (cm); д – the type of seed coat surface (score); е – the degree of fiber and sclerenchyma layer development in pod valves (score); ж – 1000 seed weight (g); з – pod length (cm);
 Min – minimum, Max – maximum, SE – standard error of the mean

1000 семян отличались относительно невысокой изменчивостью. Среди овощных сортов чаще встречались вьющиеся растения с незаконченным типом роста главного стебля.

Для проверки статистической значимости ассоциаций между изменчивостью количественных морфологических и хозяйственно ценных признаков и принадлежностью образцов к определенному направлению использования (овощному или зерновому) был проведен однофакторный дисперсионный анализ (табл. 2).

Анализ показал, что статистически значимые различия между образцами овощного и зернового использования наблюдаются по длине вегетационного периода, продуктивности семян с растения, высоте травостоя, длине растения и боба, типу поверхности семян и степени развития пергаментного слоя и волокна в створках бобов в стадии технической спелости. Наибольшая доля влияния отмечалась у длины боба ($\eta^2 = 87,3\%$), типа поверхности семян ($\eta^2 = 87,3\%$) и степени развития перга-

Таблица 2. Результаты однофакторного дисперсионного анализа по выявлению взаимосвязи между характером изменчивости морфологических и хозяйственно ценных признаков и направлением использования образцов

Table 2. Results of the one-way analysis of variance identifying the relationship between the nature of variability in morphological and agronomic characters and the use of accessions

Фактор	df	SS	MS	F	p	η^2	SS	MS	F	p	η^2	
Признак		Длина вегетационного периода					Продуктивность семян с растения					
Направление использования	1	1191,1	1191,1	7,6	0,006	2,3	11629,5	11629,5	7,2	0,008	2,2	
Остаточная изменчивость	313	49243,4	157,3			87,7	506825,4	1619,3			88,8	
Общая изменчивость	314	50434,5					518455,0					
Признак		Высота растения (травостоя)					Длина растения					
Направление использования	1	52403,8	52403,8	186,4	0,000	37,3	10332,8	10332,8	5,5	0,019	1,7	
Остаточная изменчивость	313	87998,7	281,1			72,7	585328,9	1870,1			98,3	
Общая изменчивость	314	140402,4					595661,7					
Признак		Масса 1000 семян					Длина боба					
Направление использования	1	3436,6	3436,6	2,4	0,120	0,7	177,0	177,0	2155,3	0,000	87,3	
Остаточная изменчивость	313	447571,2	1429,9			99,3	25,7	0,1			12,7	
Общая изменчивость	314	451007,8					202,7					
Признак		Степень развития пергаментного слоя и волокна					Тип поверхности семян					
Направление использования	1	177,0	177,0	2155,27	0,000	87,3	155,4	155,4	2192,9	0,00	87,5	
Остаточная изменчивость	313	25,7	0,1			12,7	22,2	0,1			12,5	
Общая изменчивость	314	202,7					177,6					

Примечание: **SS** – сумма квадратов; **MS** – среднеквадратичное отклонение; **F** – значение критерия Фишера; **p** – уровень значимости; **df** – число степеней свободы; **η^2** – доля влияния, %

Note: **SS** – sum of squares; **MS** – mean squares; **F** – Fisher criterion value; **p** – significance level; **df** – degrees of freedom; **η^2** , % – effect size, percentage

ментного слоя и волокна ($\eta^2 = 87,3\%$). По массе 1000 семян образцы достоверно не различались.

Сравнение изученных признаков у зерновых и овощных образцов с помощью рангового критерия Краскела – Уоллиса показало достоверное влияние направления использования на изменчивость показателей всех характеристик: на длину боба $H(1, N = 315) = 200,33, p = 0,00$, на степень развития пергаментного слоя и волокна $H(1, N = 315) = 237,13, p = 0,00$, на тип поверхности семян $H(1, N = 315) = 303,22, p = 0,00$, массу 1000 семян $H(1, N = 315) = 4,7, p = 0,03$, высоту растения (травостоя) $H(1, N = 315) = 136,18, p = 0,00$, длину растения $H(1, N = 315) = 6,15, p = 0,01$, продуктивность семян с растения $H(1, N = 315) = 3,93, p = 0,04$ и длину вегетационного периода $H(1, N = 315) = 8,36, p = 0,00$.

Для выявления закономерностей изменчивости и структуры связей признаков у сортов овощного и зернового использования был проведен факторный анализ (по методу главных факторов). Анализ выявил три фактора, отражающих основную часть дисперсии признаков. Доля их дисперсии равнялась 70,3% (табл. 3). В первый фактор, доля дисперсии (FD1 = 38,0%), входили: длина боба, тип поверхности семян и, в отрицательной корреляции с ними, высота травостоя, и степень развития пергаментного слоя и волокна в створках. Фактор можно интерпретировать как фактор способности растений формировать длинные бобы и механическую ткань в различных органах растений. Образцы с бобами, не содержащими волокна и пергаментного слоя, характеризуются большей склонностью к полеганию. Второй фактор (FD2 = 17,1%) – фактор длительности периода вегетации и длины растения – отвечает за тип роста стебля. Позднеспелые образцы у вигны имеют более длинные стебли, чем скороспелые. Третий фактор (FD3 = 15,2%) – фактор продуктивности и массы 1000 семян – показывает, что чем крупнее семена, тем выше продуктивность растения. Этот фактор свидетельствует о том, что продуктивность вигны зависит от величины семян.

Рассматривая расположение образцов в факторном пространстве, можно увидеть, что зерновые и овощные образцы заняли противоположные области на графике, четко дифференцировались по первому фактору (рис. 3), то есть по признакам: длина боба и степень развития

пергаментного слоя и волокна в створках, тип поверхности семян и высота травостоя. В зоне, характеризующейся высоким травостоем, короткими бобами с хорошо развитой склеренхимой в створках, гладкой и мелкосетчатой поверхностью семян, находятся зерновые образцы, напротив – овощные, с длинными бобами, тонким пергаментным слоем, с неровной поверхностью семенной кожуры и небольшой высотой травостоя. По второму фактору (длины растения и продолжительности периода вегетации) нет четкого деления между образцами разных направлений использования (см. рис. 3, а). Аналогичная картина наблюдается и по третьему фактору (продуктивности и массы 1000 семян) (см. рис. 3, б).

Таким образом, факторный анализ выявил, что основными признаками, отличающими овощные образцы от зерновых, являются длина боба, степень развития пергаментного слоя и волокна в створках, тип поверхности семян и высота травостоя. Большинство овощных сортов отличаются от зерновых склонностью к полеганию, длинными бобами, отсутствием или небольшим содержанием волокна и пергаментного слоя в створках бобов, семенной кожурой с заметными углублениями на поверхности (в виде продольных штрихов).

Факторный анализ сузил число признаков, разграничивающих образцы по направлению использования. Не выявил различий по признакам: продуктивность семян с растения, длина растения и продолжительность вегетационного периода. По-видимому, это произошло из-за некоторой трансгрессии между этими признаками у овощных и зерновых образцов.

Наилучшим методом, когда визуально объекты трудно различить и распределения признаков перекрываются, является дискриминантный анализ. Он позволяет дифференцировать объекты (совокупности, группы, таксоны и др.) при некоторой трансгрессии признаков. На основе признаков объектов математически рассчитывается искусственный и единственный признак, учитывающий все незначительные морфологические отличия в целом по всем признакам (Ivanter, Korosov, 2003). Данный анализ проводит группировку данных и вычисляет значения дискриминантной функции, которая отличается минимально возможной трансгрессией распределения в исследуемых совокупностях (группах). Использо-

Таблица 3. Факторная структура морфологических и хозяйственно ценных признаков у образцов вигны разных направлений использования

Table 3. Factor loadings of morphological and agronomic characters in cowpea accessions for different uses

Признак	Код	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Длина вегетационного периода	V	0,11	0,80	0,01
Продуктивность семян с растения	Y	0,20	-0,04	0,80
Высота растения (травостоя)	H	0,72	0,15	-0,25
Длина растения	L _p	0,06	0,80	0,09
Масса 1000 семян	M _s	-0,20	0,16	0,70
Длина боба	L _b	-0,87	0,04	-0,04
Степень развития пергаментного слоя и волокна в створках боба	P	0,91	0,05	0,08
Тип поверхности семян	S	-0,89	-0,15	-0,06
Доля дисперсии, %		38,0	17,1	15,2

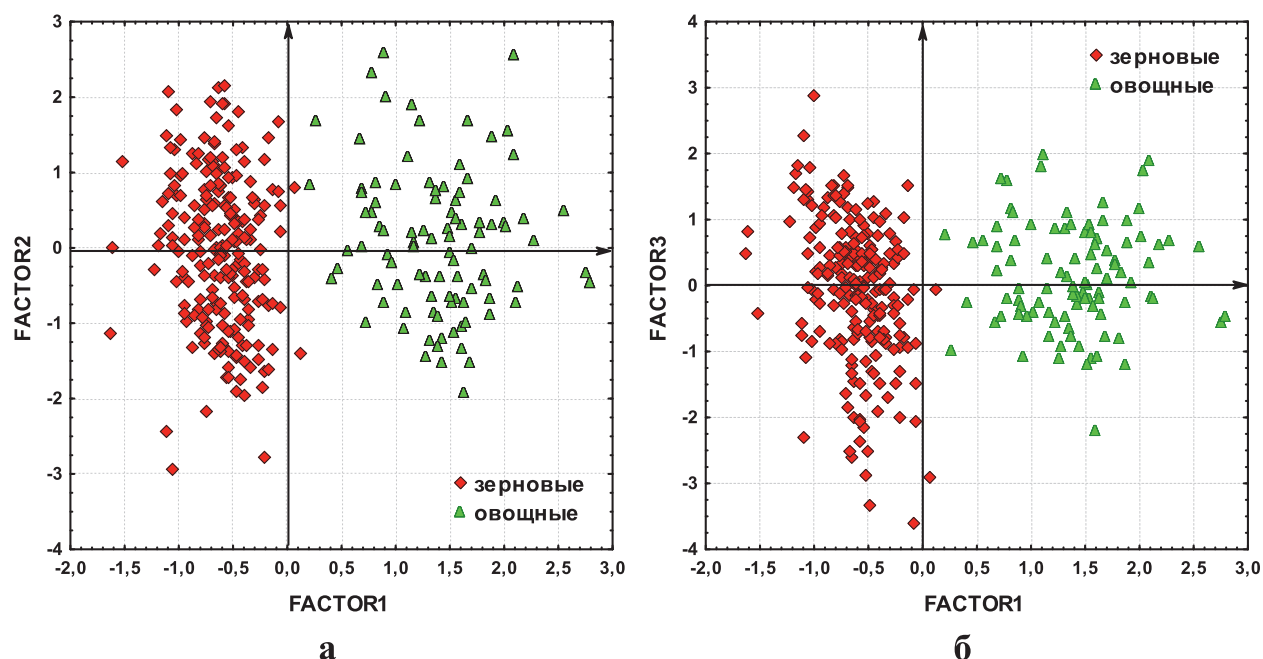


Рис. 3. Распределение образцов вигны овощного и зернового направления в пространстве факторов:
а – Фактор 1–2, б – Фактор 1–3

Fig. 3. Scatterplot of cowpea accessions for vegetable and grain uses in the factorial space:
а – Factor 1–2, б – Factor 1–3

ние полученной дискриминантной функции позволяет отнести отдельно взятое наблюдение к одной из этих совокупностей.

Поэтому для уточнения числа признаков, наиболее значимых при распределении образцов по группам (выделенным по типу использования в сельском хозяйстве) и их классификации, мы осуществили дискриминантный анализ. Проводили пошаговый дискриминантный анализ с последовательным включением признаков.

Достоверные различия образцов по группам были получены по признакам: «степень развития пергаментного слоя и волокна», «высота растения» (травостоя), «длина боба» и «тип поверхности семян». Вклад в дискриминантную функцию длины растения, массы 1000 семян, длины вегетационного периода и семенной продуктивности был ниже порога включения, поэтому эти признаки были исключены из исследования.

При анализе признаков, имеющих наибольшее значение для классификации образцов, последним вошедшим

признаком была высота травостоя $F(1,310) = 14,32$ $p < 0,0002$. Значение лямбды Уилкса – 0,073. Приближенное значение F-статистики, связанное с лямбдой Уилкса, – $F(4,310) = 985,87$ $p < 0,0000$.

В результате этого анализа нами были рассчитаны функции классификации, по которым можно вычислить классификационные значения для вновь поступивших в исследование (в коллекцию) образцов (табл. 4). По ним даже по одному году исследования, имея данные по четырем признакам, можно классифицировать образцы по овощному или зерновому типу использования.

Функции классификации:

зерновые сорта = $0,36 S + 14,09 P + 0,50 L_b + 0,24 H - 34,69$;

овощные сорта = $23,42 S + 6,58 P + 0,73 L_b + 0,14 H - 38,86$,

где: S – тип поверхности семян, P – степень развития пергаментного слоя и волокна в створках боба, H – высота травостоя, L_b – длина боба.

Таблица 4. Функции классификации для групп, выделенных по направлению использования образцов

Table 4. Classification functions for groups identified according to the use of accessions

Признак	Код	Классификационное значение	
		Зерновые сорта	Овощные сорта
Тип поверхности семян	S	0,36	23,42
Степень развития пергаментного слоя и волокна в створках боба	P	14,09	6,58
Длина боба	L _b	0,50	0,73
Высота растения (травостоя)	H	0,24	0,14
Константа		-34,69	-38,86

Новый образец будет относиться к тому направлению, для которого классификационное значение будет максимально.

Суммируя данные, полученные в результате однофакторного дисперсионного, факторного и дискриминантного анализов, можно сказать, что самыми важными признаками, дифференцирующими сорта по типам использования (овощному и зерновому), являются признаки: тип поверхности семян, степень развития волокна и пергаментного слоя створках боба, длина боба и высота растения (травостоя).

Корреляционный анализ, проведенный одновременно для всех образцов и отдельно для сортов овощного и зернового направления использования, выявил значительные различия во взаимосвязях между изученными признаками.

Сравнение трех z-преобразованных корреляционных матриц (рассчитанных для овощных, зерновых и всех образцов) показало, что по структуре корреляций они сходны на 43,0%, различны – на 38,0%. Эти данные говорят о существенной разнице структуры связей между признаками у образцов из разных групп.

Для детального анализа систем взаимосвязей между признаками были построены корреляционные кольца (Terentyev, 1959; Schmidt, 1984), которые представлены на рисунке 4. Все показатели r были статистически значимы при $p < 0,01$.

В матрице, рассчитанной для всех образцов, отражающей корреляции, характерные для вида в целом, графически представленной на рисунке 4, выделяются три корреляционные плеяды (наиболее сильно взаимосвязанные группы признаков). В первую плеяду входят длина боба, тип поверхности семян, степень развития пергаментного слоя и волокна в створках боба и высота травостоя ($0,7 < r < 0,9$), во вторую – корреля-

ция между длиной растения и продолжительностью вегетационного периода ($r = 0,6$), в третью – масса 1000 семян и продуктивность ($r = 0,4$). Довольно близка к ней по структуре взаимосвязей признаков матрица корреляций у овощных образцов, в ней сохраняются три корреляционные плеяды, но в первой исчезают связи между типом поверхности семян и другими признаками. Зато во второй появляются корреляции между семенной продуктивностью, длиной растения и длиной боба. У зерновых сортов также присутствуют корреляции, аналогичные для вида (связи между признаками второй и третьей плеяды), однако полностью отсутствуют ассоциации, характерные для первой плеяды.

Существенные различия по структуре корреляций наблюдаются и в связях продуктивности семян с растения с другими признаками: так, у овощных сортов она коррелирует с длиной главного стебля ($r = 0,5$), массой тысячи семян ($r = 0,4$) и длиной боба ($r = 0,4$), а у зерновых – только с крупносемянностью ($r = 0,4$).

В то же время, в отличие от овощных сортов, у зерновых существует взаимосвязь между длиной вегетационного периода и длиной боба ($r = 0,4$). Кроме того, у овощных сортов имеется отрицательная корреляция между крупносемянностью и длиной боба ($r = -0,5$), а у зерновых – положительная ($r = 0,3$).

По уровню связей между признаками рассматриваемые матрицы довольно близки. Небольшая разница наблюдается только по силе корреляции между длиной вегетационного периода и длиной растения: у зерновых сортов она немного слабее ($r = 0,5$), чем у овощных ($r = 0,6$).

Таким образом, несмотря на сходство структуры и силы корреляций признаков, влияющих на продуктивность семян с растения у овощных и зерновых образцов,

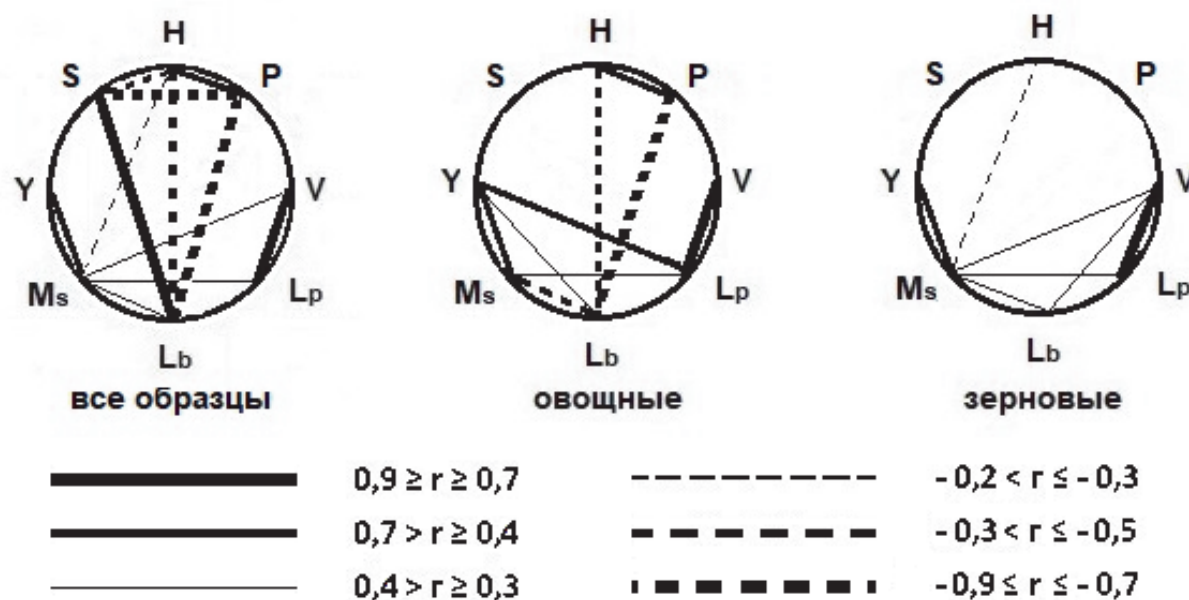


Рис. 4. Изменчивость структуры корреляций у овощных и зерновых образцов вигны:

H – высота травостоя; **V** – длина вегетационного периода; **L_p** – длина растения; **L_b** – длина боба; **M_s** – масса 1000 семян; **Y** – продуктивность семян с растения; **S** – тип поверхности семян; **P** – степень развития волокна и пергаментного слоя в створках боба

Fig. 4. Variability of the structure of correlations in vegetable and grain cowpea accessions:

H – grass stand height; **V** – duration of the growing season; **L_p** – plant height; **L_b** – pod length; **M_s** – 1000 seed weight; **Y** – seed productivity per plant; **S** – seed coat surface type; **P** – presence of fibers and sclerenchyma layer cells in pod valves

существуют и важные отличия. Так, продуктивность у зерновых сортов в большей степени связана с массой 1000 семян, а у овощных она зависит также и от длины растения и длины бобов.

В большинстве статей, изучающих корреляции семенной продуктивности вигны с другими признаками, авторы указывают на ее сильную зависимость от числа бобов на растении (Sharma et al., 2017; Asadova, 2019; Gurkina, 2019; Kalambe et al., 2019; Nkhoma et al., 2020). По другим признакам, связанным с продуктивностью, представлены разноречивые данные.

Если рассмотреть работы, в которых проводилось изучение корреляций по изученным нами признакам, можно увидеть диаметрально противоположные результаты. Так, при исследовании 30 образцов в Азербайджане наблюдалась сильная корреляция между массой семян с растением и массой 1000 семян ($r = 0,92$) (Asadova, 2019). Аналогичная взаимосвязь продуктивности с массой 100 семян отмечается во многих работах индийских ученых (Sharma et al., 2017; Kalambe et al., 2019, и др.). В Астраханской области при анализе 33 сортов эта ассоциация не была выявлена ($r = -0,03$) (Gurkina, 2019). Несоответствия результатов, полученных разными исследователями, можно объяснить тем, что в Азербайджане и Индии анализ проводился на зерновых сортах, для которых масса 1000 семян – один из важных элементов продуктивности; в Астраханской области – на овощных, причем, судя по слабой связи продуктивности с формой куста и длиной растения ($r = 0,29$), только на образцах с полу- и детерминантным типом роста, то есть на образцах, выравненных по большинству морфологических признаков. В нашем исследовании 315 образцов, представляющих значительное разнообразие культуры по типу куста, длине растения и другим морфологическим характеристикам, взаимосвязь продуктивности и массы 1000 семян имела средний уровень как у овощных, так и у зерновых сортов ($r = 0,40$).

Разноречивые данные представлены в статьях и по исследованию силы связей между семенной продуктивностью и длиной боба. Во многих из них отмечается значимая генотипическая корреляция между этими признаками (Sapara, Javia, 2014; Meena et al., 2015; Nkhoma et al., 2020). Несмотря на средний уровень этой связи, большинство авторов описывают эту ассоциацию как стабильную и важную для селекции высокоурожайных сортов. Нами подобная взаимосвязь была обнаружена только у овощных сортов. К сожалению, из публикации труднее понять из какой группы сортов, *unguiculata* или *sesquipedalis*, изучались образцы, поэтому невозможно с полной уверенностью сказать, что наши результаты аналогичны.

Обобщая собственные данные и результаты других исследователей, можно заключить, что структура и сила взаимосвязей элементов семенной продуктивности вигны достаточно лабильна, зависит от климатических и экологических условий, от объема выборки, от принадлежности образца к определенной группе сортов (cultivar group).

Структура и сила корреляций между исследованными нами признаками у овощных и зерновых образцов неодинакова и имеет свои особенности, которые нужно учитывать в селекции сортов, специализированных по направлению использования. В жарком засушливом климате Астраханской области признаком – индикатором высокой семенной продуктивности у зерновых сортов является масса 1000 семян, у овощных, независимо от длины растения, – длина боба и масса 1000 семян.

Заключение

На основе полевой оценки образцов и статистического анализа изученных признаков выявлена достоверность различий между зерновыми и овощными сортами по следующим характеристикам: тип поверхности семян, степень развития пергаментного слоя и волокна в створках боба, длина боба и высота травостоя. Признаком, идентифицирующим овощные сорта по семенам, являются углубления (продольные штрихи) на поверхности семенной кожуры.

Для групп сортов *unguiculata* и *sesquipedalis* рассчитаны дискриминантные функции, по которым можно идентифицировать и классифицировать сорта по направлениям использования. По данным функциям можно определить принадлежность образца, когда это трудно сделать глазомерно, так как параметры изучаемых признаков нередко имеют пограничные значения и частично перекрываются, что значительно облегчит исследователям, селекционерам и кураторам коллекций работу с генетическими ресурсами *Vigna unguiculata*.

Установленные различия в структуре взаимосвязей семенной продуктивности с другими хозяйственно ценными признаками у зерновых и овощных сортов позволяют более эффективно использовать генофонд вигны и подбирать исходный материал для улучшения культуры. В условиях аридного климата для селекции высокоурожайных зерновых сортов следует отдавать предпочтение образцам с высокой массой 1000 семян, а при создании овощных – крупносемянным и длинноплодным.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0002 «Научное обеспечение эффективного использования мирового генофонда зернобобовых культур и их диких родичей коллекции ВИР».

This study was implemented within the framework of the State Task in accordance with the topical plan of VIR for Project No. 0662-2019-0002 “Scientific support for effective utilization of the global genetic diversity of grain legume crops and their wild relatives from the VIR collection”.

References / Литература

- Asadova A.I. The breeding value of *Vigna* (*Vigna Savi*) initial material in Azerbaijan. *Grain Economy of Russia*. 2019;3(63):59-63. [in Russian] [Асадова А.И. Селекционная ценность исходного материала вигны (*Vigna Savi*) в Азербайджане. *Зерновое хозяйство России*. 2019;3(63):59-63]. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-63-3-59-63
- Burlyayeva M.O., Gurkina M.V., Chebukin P.A. Studies of long-podded cowpea from VIR collection and the prospects of its cultivation in Russia. *Zemledelie = Crop Farming*. 2015;(1):45-48. [in Russian] [Бурляева М.О., Гуркина М.В., Чебукин П.А. Изучение спаржевой вигны из коллекции ВИР и перспективы ее возделывания в России. *Земледелие*. 2015;(1):45-48].
- Burlyayeva M.O., Gurkina M.V., Chebukin P.A., Kiseleva N.A. International descriptors for species of the genus *Vigna Savi*. (Mezhdunarodny klassifikator vidov roda *Vigna Savi*). St. Petersburg: VIR; 2016. [in Russian] [Бурляева М.О., Гуркина М.В., Чебукин П.А., Киселева Н.А.

- Международный классификатор видов рода *Vigna* Savi. Санкт-Петербург: ВИР; 2016).
- Burlyayeva M.O., Gurkina M.V., Chebukin P.A., Perchuk I.N., Miroshnichenko E.V. New varieties of vegetable cowpea (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.) and prospects of their cultivation in southern Russia. *Vegetable Crops of Russia*. 2019;(5):33-37. [in Russian] (Бурляева М.О., Гуркина М.В., Чебукин П.А., Перчук И.Н., Мирошниченко Е.В. Новые сорта вигны (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.) овощного использования, перспективные для возделывания в южных регионах России. *Овощи России*. 2019;(5):33-37). DOI: 10.18619/2072-9146-2019-5-33-37
- Efremova M.E., Dutov V.N., Lobankova O.Yu. Features of cultivation of cowpea (*Vigna*) in the zone of unstable humidification. *Novosti nauki v APK = Science News in the Agro-Industrial Complex*. 2019;3(12):436-439. [in Russian] (Ефремова М.Е., Дутов В.Н., Лобанкова О.Ю. Особенности выращивания вигны (*Vigna*) в условиях зоны неустойчивого увлажнения. *Новости науки в АПК*. 2019;3(12):436-439). DOI: 10.25930/2218-855X/110.3.12.2019
- Fotev Yu.V., Belousova V.P. Variability of traits in cowpea accessions in Siberia (Izmenchivost priznakov sortoobraztsov vigny v Sibiri). *Vegetable Crops of Russia*. 2010;3(9):32-36. [in Russian] (Фотев Ю.В., Белосова В.П. Изменчивость признаков сортообразцов вигны в Сибири. *Овощи России*. 2010;3(9):32-36).
- Gurkina M.V. Variability and correlations of economically valuable traits in cowpea from the VIR collection in the environments of Astrakhan Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(1):59-65. [in Russian] (Гуркина М.В. Изменчивость и связи хозяйственно ценных признаков спаржевой вигны из коллекции ВИР в условиях Астраханской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(1):59-65). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-59-65
- Ivanter E.V., Korosov A.V. Introduction to quantitative biology (Vvedeniye v kolichestvennyuyu biologiyu). Petrozavodsk; 2003. [in Russian] (Ивантер Е.В., Коросов А.В. Введение в количественную биологию. Петрозаводск; 2003).
- Kalambe A.S., Wankhade M.P., Deshmukh J.D., Chavan B.R., Shinde A.V. Correlation studies in cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2019;8(3):321-323. DOI: 10.22271/chemi.2020.v8.i6k.10857
- Maxted N., Mabuza-Dlamini P., Moss H., Padulosi S., Jarvis A., Guarino L. An ecogeographic survey: African *Vigna*. Rome: IBPGR; 2004.
- Meena H.K., Ram Krishna K., Singh B. Character associations between seed yield and its components traits in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *Indian Journal of Agricultural Research*. 2015;49(6):567-570. DOI: 10.18805/ijare.v49i6.6688
- Nkhoma N., Shimelis H., Laing M.D., Shayanowako A., Mathew I. Assessing the genetic diversity of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] germplasm collections using phenotypic traits and SNP markers. *BMC Genetics*. 2020;21(1):110. DOI: 10.1186/s12863-020-00914-7
- Pavlova A.M. Cowpea (*Vigna*). In: *Flora of cultivated plants. Vol. 4. Grain legumes*. Moscow; Leningrad; 1937. p.623-646. [in Russian] (Павлова А.М. Вигна. В кн.: *Культурная флора СССР. Зерновые бобовые. Т. 4*. Москва; Ленинград; 1937. С.623-646).
- Pienaar B.J., van Wyk A.E. The *Vigna unguiculata* complex (Fabaceae) in southern Africa. *South African Journal of Botany*. 1992;58(6):414-429. DOI: 10.1016/S0254-6299(16)30788-8
- РИНМИ–WDC. Technology of Aisori: Site of technology (FGBU “VNIIGMI-MTsD”. Tekhnologii Aisori: sayt tekhnologii). 2014. [in Russian] (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Технологии Аисори: сайт технологии. 2014). URL: <http://meteo.ru/it/178-aisori> [дата обращения: 25.04.2018].
- Rostova N.S. Correlations: structure and variability. In: *Proceedings of the St. Petersburg Society of Naturalists. Ser. 1. Vol. 94*. St. Petersburg: St. Petersburg State University; 2002. [in Russian] (Ростова Н.С. Корреляции: структура и изменчивость. В кн.: *Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. Сер. 1. Т. 94*. Санкт-Петербург: СПбГУ; 2002).
- Sapara G.K., Javia R.M. Correlation and path analysis in vegetable cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *International Journal of Plant Sciences*. 2014;9(1):138-141.
- Schmidt V.M. Mathematical methods in botany (Matematicheskiye metody v botanike). Leningrad: Leningrad State University; 1984. [in Russian] (Шмидт В.М. Математические методы в ботанике. Ленинград: Ленинградский государственный университет; 1984).
- Sharma P.P., Baranda B., Haritwal S., Sharma M. Character association for seed yield and its components in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017;6(9):967-975. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.609.117
- Shuaibova N.Sh., Khabibov A.D., Omarova P.A. Comparative analysis of the variable structure of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. morphological features in the conditions of lowland Dagestan. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2020;57(1):128-137. [in Russian] (Шуайбова Н.Ш., Хабибов А.Д., Омарова П.А. Сравнительный анализ структуры изменчивости морфологических признаков сортообразцов *Vigna unguiculata* (L.) Walp. в условиях равнинного Дагестана *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2020;57(1):128-137).
- Silva A.C., Santos D., Junior D.L.T., Silva P.B., Santos R.C., Siviero A. Cowpea: a strategic legume species for food security and health. In: J.C. Jimenez-Lopez, A. Clemente (eds), *Legume Seed Nutraceutical Research*. London: IntechOpen; 2018. p.47-65. DOI: 10.5772/intechopen.79006
- Smýkal P., Coyne C.J., Ambrose M.J., Maxted N., Schaefer H., Blair M.W. et al. Legume crops phylogeny and genetic diversity for science and breeding. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2015;34(1-3):43-104. DOI: 10.1080/07352689.2014.897904
- Terentyev P.V. Method of correlation Pleiades (Metod korrelyatsionnykh pleyad). *Vestnik Leningradskogo universiteta. Seriya "Biologiya" = Bulletin of Leningrad University. Series "Biology"*. 1959;2(9):35-42. [in Russian] (Терентьев П.В. Метод корреляционных плеяд. *Вестник Ленинградского университета. Серия «Биология»*. 1959;2(9):137-141).
- Vishnyakova M.A., Seferova I.V., Buravtseva T.A., Burlyayeva M.O., Semenova E.V., Aleksandrova T.G., Yan'kov I.I., Egorova G.P., 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., Булын-

цев 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

Zhuzhukin V.I., Bagdalova A.Z. Vigna – a valuable food crop for the Lower Volga region. *Advances in Current Natural Sciences*. 2017;(11):30-35. [in Russian] (Жужукин В.И., Багдалова А.З. Вигна – ценная продовольственная культура для нижнего Поволжья. *Успехи современного естествознания*. 2017;(11):30-35).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Бурляева М.О., Гуркина М.В., Мирошниченко Е.В. Применение многомерного анализа для выявления взаимосвязей хозяйственно ценных признаков вигны и дифференциации сортов по овощному и зерновому направлениям использования. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):36-47. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-36-47

Burlyayeva M.O., Gurkina M.V., Miroshnichenko E.V. Application of multivariate analysis to identify relationships among useful agronomic characters of cowpea and differentiation of cultivars for vegetable and grain uses. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):36-47. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-36-47

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-36-47>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Burlyayeva M.O. <https://orcid.org/0000-0002-3708-2594>

Gurkina M.V. <https://orcid.org/0000-0001-6169-6089>

Miroshnichenko E.V. <https://orcid.org/0000-0002-3171-4968>

Изучение хозяйственно ценных признаков новых образцов проса коллекции ВИР в условиях Екатеринбургской опытной станции ВИР

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-48-60
УДК 633.171.

Поступление/Received: 29.09.2020

Принято/Accepted: 16.06.2021



Studying agronomic characters in new millet accessions from the VIR collection at Yekaterinino Experiment Station of VIR

Т. В. КУЛЕМИНА

T. V. KULEMINA

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
✉ kku@ya.ru

N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
✉ kku@ya.ru

Актуальность. Пополнение коллекции ВИР новыми сортами растений – необходимая и важная работа в сохранении разнообразия биологических ресурсов планеты. Формирование коллекции проса происходит посредством изучения вновь поступивших образцов с целью выявления выделившихся морфологических и биологических признаков при определенных условиях. В дальнейшем такие образцы могут быть рекомендованы для целенаправленного использования в селекции. Изучение новых образцов дает возможность прогнозировать и планировать долгосрочную перспективу развития коллекции.

Материалы и методы. Изучение проводили в условиях Екатеринбургской опытной станции (Тамбовская обл.) в 2017–2019 гг. Объектами исследования служили новые образцы проса, поступившие в коллекцию ВИР. Исследование проводили в соответствии с разработанными и принятыми в ВИР методиками по изучению мировой коллекции проса.

Результаты и заключение. На основании проведенного изучения была дана оценка вегетационному периоду, высоте растений, крупности и продуктивности зерна, устойчивости к бактериозу. Выделены образцы, превысившие стандарт ‘Горлинка’ по ряду признаков. Скороспелость показали образцы: к-10479, к-10481, к-10324, к-10325, к-10478, к-10275, к-10306, к-10322, к-10473, к-10474; низкорослость – к-888, к-10324, к-10306, к-10474, к-10479, к-10326, к-10481, к-10480; крупнозерность – к-888, к-10325, к-10306, к-10324, к-10479, к-10475, к-10322, к-10473, к-10480, к-10481; высокую продуктивность зерна – к-888, к-10481; устойчивость к бактериозу – к-888, к-10275, к-10473, к-10474, к-10324, к-10325. Выделенные образцы могут служить исходным материалом для улучшения хозяйственных признаков и селекции новых сортов проса.

Ключевые слова: исходный материал, продуктивность, источники, высота растения, крупнозерность, скороспелость.

Background. Adding new plant varieties to the VIR collection is an important effort to preserve the diversity of worldwide bioresources. The millet collection at VIR is formed through the study of acquired accessions, aimed at identification of biological features that have emerged under certain conditions. Such germplasm may be recommended for use in breeding practice. Studying new accessions makes it possible to predict long-term development of the collection.

Materials and methods. The study was carried out at Yekaterinino Experiment Station of VIR, Tambov Province, in 2017–2019. New millet accessions added to the VIR collection served as the research material. The study was based on the descriptors and guidelines for *Panicum miliaceum* L. developed at VIR.

Results and conclusions. An assessment was made for such agronomic characters as the growing season, plant height, grain size, grain yield, and resistance to bacteria. The identified accessions exceeded the reference (cv. ‘Gorlinka’) in a number of traits. Earliness was observed in k-10479 (‘Dozh’), k-10481 (‘Zapadnoye’), k-10324, k-10325, k-10478 (‘Nizhnevolzhskoye’), k-10275 (‘Kvartet’), k-10306 (‘Volga 59’), k-10322 (‘Soyuz’), k-10473 (‘Yarkoye 120’), and k-10474 (‘Kavkazskiy zori’). Low plant height was recorded for k-888, k-10324, k-10306, k-10474, k-10479, k-10326, k-10481, and k-10480 (‘Kamyshenskoye’). Large grain size was shown by k-888, k-10325, k-10306, k-10324, k-10479, k-10475 (local), k-10322, k-10473, k-10480, and k-10481. High grain yields under the conditions of the Central Black Earth Region of Russia were demonstrated by the accessions from Belarus (cv. ‘Zapadnoye’, k-10481) and from Chelyabinsk Province (local cultivar, k-888). Medium and strong resistance to bacterial pathogens was observed in k-888, k-10275, k-10473, k-10474, k-10324, and k-10325. The selected accessions can serve as source material for the development of new millet cultivars.

Key words: source material, yield, plant height, large grain size, earliness.

Введение

Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) является единственным в России генным банком растительных ресурсов, который служит стратегической базой эффективного стабильного развития не только сельского хозяйства, но и всех отраслей экономики и социальной сферы. Одной из культур, представляющей эту базу, является просо. Коллекция проса насчитывает более 9 тыс. образцов с различными селекционно ценными признаками.

Просо является одной из перспективных, особенно в условиях засушливых районов страны, культур многопланового использования – как в пищевом и кормовом направлении, так и в резервно-стратегическом (Kulemina et al., 2010). Зерно используется для производства пшеницы (пищевая и кормовая промышленность), а также в необработанном виде (кормовая промышленность). Просо превосходит многие зерновые культуры по устойчивости к большинству инфекционных заболеваний (Kulemina, 2019). Пшено содержит белка больше, чем рисовая, перловая, манная крупы (Khoreva, Kurtseva, 2006). Сено и зеленая масса, отходы технологической обработки зерна (сечка, мучель) идут на корм скоту. Сено проса превосходит сено овса, сорго, кукурузы и тимopheевки, зеленая масса – кукурузу, сорго, могар, суданскую траву (Lysov, 1968). Ценность проса заключается в том, что поздние сроки посева не сильно влияют на качество и урожайность проса. При гибели других хлебных злаков просо может быть использовано для пересева.

Пополнение коллекции проса ВИР является неотъемлемой частью работы по сохранению, расширению и изучению сельскохозяйственных культур, выделению и созданию новых селекционных сортов. Изучение вновь поступивших образцов проса направлено на выявление выделенных морфологических и биологических признаков, имеющих хозяйственную ценность, при определенных условиях; такие образцы в дальнейшем могут быть целенаправленно использованы в селекции, а также это способствует возможности прогнозировать и планировать долгосрочную перспективу развития коллекции.

Цель работы – изучить хозяйственно ценные признаки образцов проса, поступившие в коллекцию ВИР, в условиях Екатеринбургской опытной станции – филиала ВИР (Тамбовская обл., Россия).

Материал и методы

Исследования проводили в период 2017–2019 гг. на Екатеринбургской опытной станции – филиале ВИР (ЕОС ВИР) (Тамбовская обл., Россия). Объектом исследования служили образцы проса посевного, поступившие в коллекцию ВИР.

Екатерининская опытная станция располагается на севере Центрально-Черноземной зоны России (южной части Восточно-Европейской равнины), в пойме реки Полной Воронеж, в зоне с умеренно континентальным климатом и недостаточным увлажнением, со средней величиной гидротермического коэффициента – 0,95–1,10. Средняя температура в январе находится в пределах от –10,8 до –9°C, в июле – от +19 до +20°C. В среднем за год выпадает осадков от 450 до 550 мм. За вегетационный период сумма осадков составляет 50–60% от годовой. Продолжительность периода с температурами выше 10°C варьирует от 141 до 154 дней, сумма температур выше 10°C составляет 2300–2600°C. Почвы – типичные

мощные, слабо выщелоченные черноземы, тяжелосуглинистые по механическому составу. Почвы среднекислые (рН 4,85), содержание гумуса среднее (5,8%), подвижного фосфора (104%) и калия (101%) повышенное. Агротехника общепринятая для зоны.

Изучение каждого образца проводили на площади делянки 1 м². Посев осуществляли в зависимости от погодных условий года в период с последней декады мая по первую декаду июня навесной сеялкой и трактором Т16 с нормой высева 500 шт. на делянку. В течение вегетационного периода выполняли фенологические наблюдения. Уборку проводили в фазу полной спелости зерна.

Образцы оценивали по продолжительности вегетационного периода, высоте растений, крупности и продуктивности зерна, по устойчивости к бактериозу. Описание реакции на поражение вредителями приведено в балах. Оценка образцов по количественным признакам дана по среднему значению признака, полученному за годы изучения. Исследование проводили в соответствии с международным классификатором СЭВ (Agafonov et al., 1982) и методическими указаниями ВИР по изучению коллекции проса (Agafonov, Kurtseva, 1988). Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитан по формуле Г. Т. Селянинова, где ГТК менее 0,5 соответствовал сильной засухе, 0,51–0,7 – значительной засухе, 0,71–1,0 – умеренной засухе, 1,01–1,5 – умеренной увлажненности, 1,51–1,8 – вполне достаточному увлажнению, более 1,8 – избыточному увлажнению.

Статистическую обработку данных выполняли методами дисперсионного, регрессионного и корреляционного анализов по методике Б. А. Доспехова (Dospikhov, 1985). Математический анализ материала проводили с помощью компьютерной программы Microsoft Office Excel.

Исследовано 14 образцов проса посевного (*Panicum miliaceum* L.), поступивших в коллекцию ВИР из России, Таджикистана, Казахстана, Белоруссии, и 1 местного сорт из Челябинской области России. В качестве стандарта (St) был принят районированный сорт 'Горлинка' из Самарской области (табл. 1).

Метеорологические условия в годы проведения исследований характеризовались разнообразием как по объему выпавших осадков и сумме температур, так и по характеру их распространения за весь вегетационный период (рис. 1, рис. 2, табл. 2). Превышение среднееголетних температурных данных по всем месяцам вегетации отмечалось в 2018 и в 2019 г. (в среднем на +3,6 и +4,3°C – 20 и 20,7°C соответственно), в 2017 г. – в августе и сентябре (на +2,7 и +2,4°C – 21 и 14,5°C соответственно). В мае и июне 2017 г. температура воздуха была ниже среднееголетней на 0,9 и 0,3°C (13,0 и 17,5°C), в июле равнялась среднееголетней (20°C). В 2017 и 2018 г. сумма осадков в период вегетации превышала на 58% (148 мм) и 18% (47 мм), а в 2019 г. практически равнялась среднееголетним данным. В 2017 г. в мае выпало осадков на 16% больше среднееголетней; в июне, июле и августе количество осадков превышало среднееголетнее на 72%. В 2018 г. вегетационный период характеризовался недостаточностью осадков в мае на 16%, в июне – на 84% по сравнению со среднееголетними показателями и, напротив, обильными дождями в июле (на 211% больше нормы) и отсутствием осадков в августе. В 2019 г. распределение осадков по месяцам было неравномерным: более влажный май с количеством осадков на 30% больше среднееголетнего (56 мм) сменился июнем с недостатком влаги на 68%.

Таблица 1. Образцы проса, изученные в условиях Тамбовской области России
(Екатерининская опытная станция ВИР, 2017–2019 гг.)

Table 1. Millet accessions studied under the conditions of Tambov Province, Russia
(Yekaterinino Experiment Station of VIR, 2017–2019)

№ по каталогу ВИР	Название	Происхождение
9994	Горлинка (St)	РФ, Самарская обл.
888	Местное	РФ, Челябинская обл.
10275	Квартет	РФ, Орловская обл.
10306	Поволжское 59	РФ, Самарская обл.
10322	Союз	РФ, Орловская обл.
10324	Линия sp 2215	РФ, Орловская обл.
10325	Линия sp 2516	РФ, Орловская обл.
10326	Линия sp 2236	РФ, Орловская обл.
10473	Яркое 120	РФ, Казахстан
10474	Кавказские зори	РФ, Кабардино-Балкария
10475	Местное	Таджикистан
10476	Местное	Таджикистан
10478	Нижневолжское	РФ, Волгоградская обл.
10479	Дождь	Беларусь
10480	Камышенское	Беларусь
10481	Западное	Беларусь

Примечание: St – сорт-стандарт

Note: St means the reference cultivar

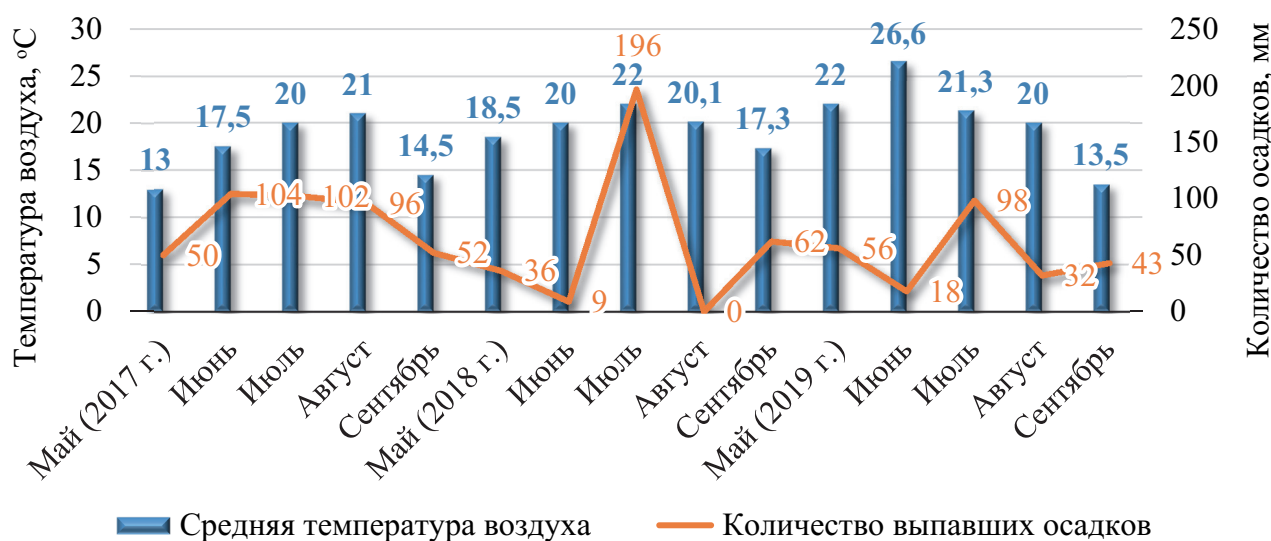


Рис. 1. Метеорологические условия периодов вегетации образцов проса
(по данным метеопункта Екатерининской опытной станции ВИР за 2017–2019 гг.)

Fig. 1. Weather conditions during the growing season of millet accessions
(as recorded by the weather station at Yekaterinino for 2017–2019)

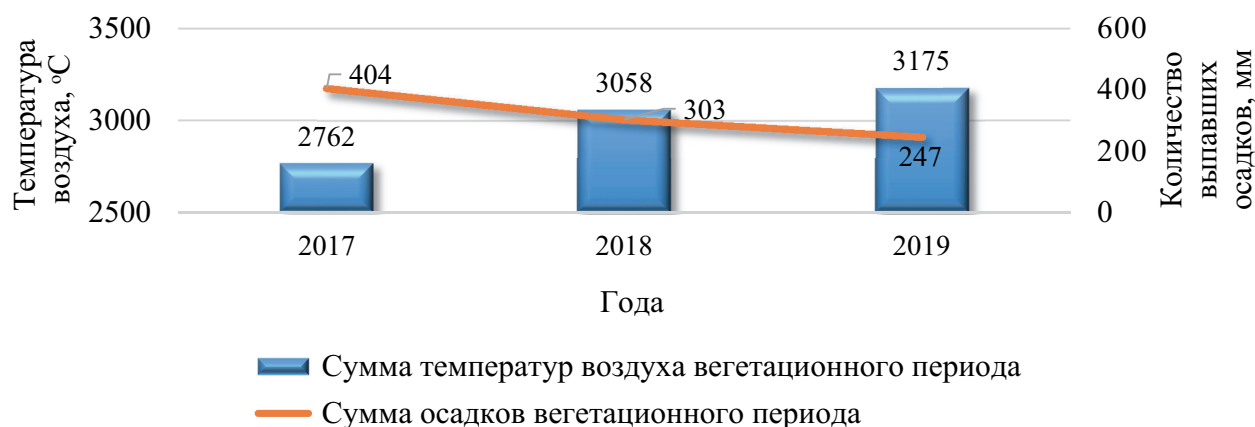


Рис. 2. Климатическая характеристика вегетационного периода 2017–2019 гг.
(Екатерининская опытная станция ВИР)

Fig. 2. Climate characteristics of the growing seasons in 2017–2019
(Yekaterinino Experiment Station of VIR)

Таблица 2. Метеорологический обзор периода вегетации проса
(Екатерининская опытная станция ВИР, 2017–2019 гг.)

Table 2. Meteorological review of the millet growing season
(Yekaterinino Experiment Station of VIR, 2017–2019)

	Температура воздуха, °C				Сумма осадков, мм				ГТК*			
	Год			Много-летняя	Год			Много-летняя	Год			Много-летняя
	2017	2018	2019		2017	2018	2019		2017	2018	2019	
Май	13,0 (-0,9)	18,5 (+4,6)	22,0 (+8,1)	13,9	50,0 (+7)	36,0 (-7)	56,0 (+13)	43,0	1,31	0,61	0,83	1,09
Июнь	17,5 (-0,3)	20,0 (+2,2)	26,6 (+8,8)	17,8	104,0 (+47)	9,0 (-48)	18,0 (-39)	57,0	1,92	0,15	0,21	1,55
Июль	20,0 (0)	22,0 (+2)	21,3 (+1,3)	20,0	102,0 (+39)	196,0 (+133)	98,0 (+35)	63,0	1,71	3,02	1,52	1,26
Август	21,0 (+2,7)	20,1 (+1,8)	20,0 (+1,7)	18,3	96,0 (+44)	0 (-52)	32,0 (-20)	52,0	1,52	0	0,53	1,17
Сентябрь	14,5 (+2,4)	17,3 (+5,2)	13,5 (+1,4)	12,1	52,0 (+11)	62,0 (+21)	43,0 (+2)	41,0	1,23	1,22	1,12	1,6
Среднее	17,2 (+0,78)	20,0 (+3,16)	20,7 (+4,3)	16,4	80,8 (+29,6)	60,6 (+9,4)	49,4 (-1,8)	51,2	1,51	1,03	0,83	1,22
Сумма	86,0 (+3,9)	97,9 (+15,8)	103,4 (+21,3)	82,1	404,0 (+148)	303,0 (+47)	247,0 (-9)	256,0	7,55	4,95	4,13	

* ГТК – гидротермический коэффициент по Г. Т. Селянину

* ГТК – G.T. Selyaninov's hydrothermal coefficient

Количество осадков в июле превысило среднемноголетнее на 36% (35 мм) и составило 98 мм. Количество осадков, выпавших в сентябре (43 мм), равнялось среднемноголетним данным (см. рис. 1).

В целом 2017 г. можно охарактеризовать как самый выравненный по обильным осадкам и прохладный по температуре воздуха, ГТК = 1,51. Год 2018 отличался неравномерно распределенными осадками, более выравненной температурой в течение всего вегетационного периода, ГТК = 1,03. Следующий 2019 г. оказался самым жарким, с наименьшим количеством осадков, ГТК = 0,83 (см. табл. 2, рис. 3). В течение трех лет наблюдалась тенденция к увеличению суммы температур воздуха в период вегетации и уменьшению количества осадков (см. рис. 2). Самым увлажненным месяцем в течение трех лет оказался июль (ГТК от 1,52 до 2,97), сентябрь был умеренно увлажненным (ГТК от 1,12 до 1,23), гидротермический коэффициент мая колебался от значительной засухи до умеренной увлажненности. Самым непредсказуемым месяцем оказался август: в 2017 г. он был достаточно увлажненным, в 2018 г. осадки отсутствовали, в 2019 г. проявилась сильная засуха (см. рис. 3).

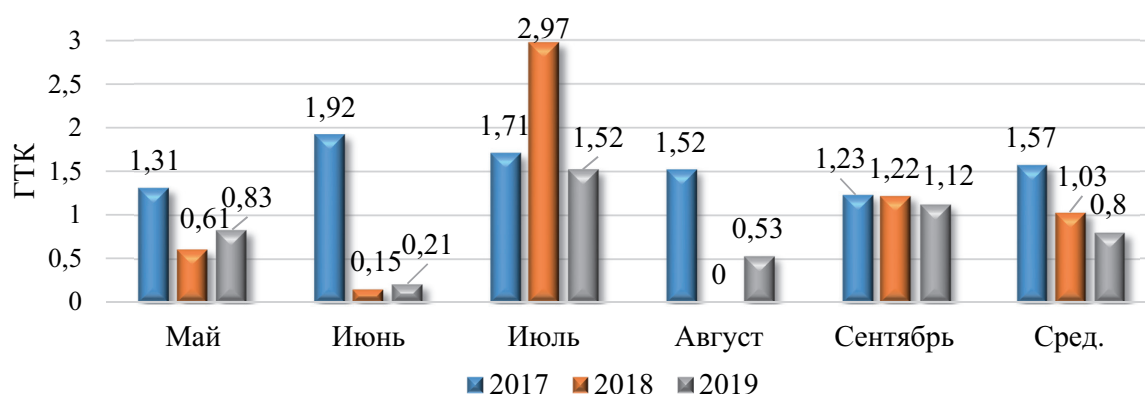


Рис. 3. Гидротермический коэффициент по месяцам
(Екатерининская опытная станция ВИР, 2017–2019 гг.)

Fig. 3. Hydrothermal coefficients by months
(Yekaterinino Experiment Station of VIR, 2017–2019)

Результаты и обсуждение

Образцы исследовали по ряду хозяйственно ценных признаков и биологических свойств. Одним из важных качеств растений проса, способствующих расширению площадей под ее посевами, является продолжительность вегетационного периода. Считается, что повышенная температура воздуха и небольшое количество осадков могут оказаться фактором низкого урожая более скороспелых образцов проса, что характерно для южной степной зоны возделывания. При продвижении посевов проса на север, в лесостепь, лесную зону, где температура воздуха постепенно понижается и нарастает количество выпавших осадков, продуктивность скороспелых образцов может повыситься (Kornilov, 1960).

По продолжительности вегетационного периода проса делится на 5 групп: 1) очень раннюю – от всходов до созревания до 60 дней; 2) раннюю – 61–80 дней; 3) среднюю – 81–100 дней; 4) позднюю – 100–120 дней; 5) очень позднюю – более 120 дней. Весь период складывается из отдельных фаз развития растений: «всходы», «кущение»,

«выметывание», «созревание». Отличия между группами начинают проявляться только в периоды «выметывание» и «созревание» (Lysov, 1968). Стандарт 'Горлинка' относится к среднеспелому образцу проса.

В наших исследованиях в 2017 г. в условиях повышенной увлажненности продолжительность вегетационного периода варьировала от 74 до 105 дней, у сорта-стандарта (St) 'Горлинка' она составила 88 дней, тогда как в засушливые годы – от 72 до 95 дней в 2018 г. (St – 95 дней) и от 66 до 115 дней в 2019 г. (St – 84 дня). Межфазный период «всходы – выметывание» в 2017 и 2018 г. составил 45–60 и 43–60 дней, у стандарта – 54 и 47 дней соответственно, а в 2019 г. – 28–55 дней (St – 40 дней). Межфазный период «выметывание – созревание» в 2017 г. длился 24–46 дней, у стандарта – 34 дня, в 2018 г. – 23–40 дней (St – 33 дня), в 2019 г. – 38–60 дней (St – 45 дней).

Самыми скороспелыми образцами проса в среднем за все три года изучения оказались к-10479 ('Дождь', Беларусь), созревший за 71 день (–20% к St), и к-10481 ('Западное', Беларусь) – за 75 дней (–16%); самыми поздними – к-10475 и к-10476 (местные сорта из Таджикистана), которые созревали 107 дней (+20% к St). Остальные

образцы вошли в группу средней спелости (табл. 3, рис. 4).

Важным биологическим свойством проса является продуктивность зерна. Высокая продуктивность зерна проса в большей степени зависима от условий взаимодействия оптимальных факторов среды, формирующих рост и развитие проса. За три года исследования продуктивность проса колебалась в пределах от 30 до 820 г/м². В 2017 г. продуктивность сорта-стандарта 'Горлинка' оказалась самой высокой и составила 634 г/м². Данный параметр превысили семь образцов: к-888 (на +7%), к-10324 (+29,3%), к-10325 (+3%), к-10473 (+5%), к-10478 (+7%), к-10481 (+3%). В 2018 г. у всех новых образцов проса продуктивность была меньше (от 30 до 200 г/м²), чем у стандарта (209 г/м²). В 2019 г. всего два вновь поступивших образца на 80% (к-10474) и 29% (к-10481) превзошли стандарт (200 г/м²). За 2017 и 2019 г. только образец к-10481 имел продуктивность выше сорта-стандарта 'Горлинка' (табл. 4).

В наших исследованиях выявлена прямая зависимость продуктивности зерна от гидротермического коэффициента увлажнения, $r = 0,89$. Только два образца из Таджики-

Таблица 3. Продолжительность вегетационного периода образцов проса, дни
(Екатерининская опытная станция ВИР, 2017–2019 гг.)

Table 3. Duration of the growing season of millet accessions, days
(Yekaterinino Experiment Station of VIR, 2017–2019)

№ по каталогу ВИР	Название	«Всходы – выметывание»				«Выметывание – созревание»				«Всходы – созревание»			
		Годы											
		2017	2018	2019	Среднее	2017	2018	2019	Среднее	2017	2018	2019	Среднее
9994	Горлинка (St)	54	47	40	47	34	33	45	37	88	95	84	89
888	Местное	57	49	40	49	32	33	45	37	88	82	84	85
10275	Квартет	55	50	55	53	34	33	54	40	88	82	108	85
10306	Поволжское 59	51	47	53	50	39	36	38	38	88	82	90	87
10322	Союз	55	50	55	53	34	33	39	35	88	82	93	88
10324	Линия sp 2215	57	60	55	57	32	23	39	31	74	82	93	83
10325	Линия sp 2516	45	48	40	44	30	35	41	35	88	82	80	83
10326	Линия sp 2236	57	50	40	49	32	33	45	37	88	82	84	85
10473	Яркое 120	57	50	40	49	32	33	54	40	88	82	93	88
10474	Кавказские зори	60	43	47	50	29	40	47	39	88	82	93	88
10475	Местное	60	-	46	53	46	-	45	46	105	-	108	107
10476	Местное	60	-	46	53	46	-	60	53	105	-	108	107
10478	Нижневолжское	51	50	40	47	24	33	54	37	74	82	93	83
10479	Дождь	51	43	28	41	24	30	39	31	74	72	66	71
10480	Камышенское	57	50	45	51	32	33	49	38	88	82	115	95
10481	Западное	51	43	40	45	24	30	39	31	74	72	78	75
Среднее значение		55	49	44	50	33	33	46	38	87	82	92	88

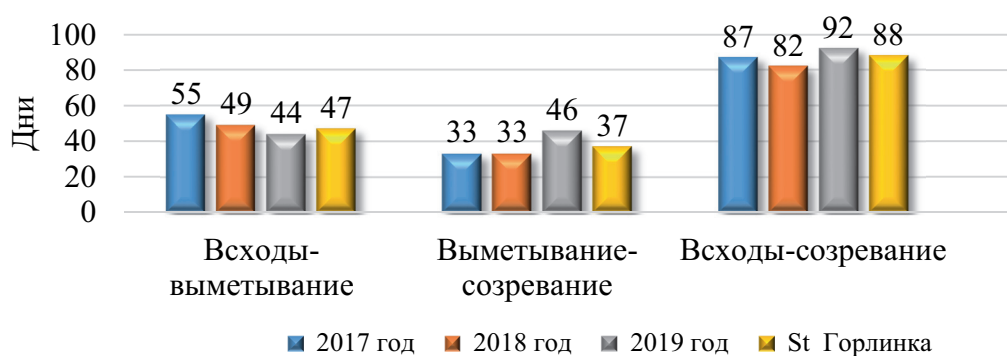


Рис. 4. Среднее значение продолжительности вегетационного периода образцов проса за три года изучения
(Екатерининская опытная станция ВИР, 2017–2019 гг.)

Fig. 4. Mean durations of the growing season phases of millet accessions for the three years of testing
(Yekaterinino Experiment Station of VIR, 2017–2019)

Таблица 4. Продуктивность зерна проса в условиях Екатеринбургской опытной станции за годы изучения (2017–2019 гг.)**Table 4. Millet grain yields under the conditions of Yekaterinino Experiment Station of VIR in the years of testing (2017–2019)**

№ по каталогу ВИР	Продуктивность, г/м ²			
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Среднее
9994 (St)	634,0	209,0	200,0	347,0
888	680,0 (+7%)	200,0 (-4%)	212,0 (+6%)	364,0 (+5%)
10275	170,0 (-73%)	126,0 (-40%)	66,0(-67%)	120,7 (-65%)
10306	145,0 (-77%)	68,0 (-68%)	50,0(-75%)	87,7 (-75%)
10322	480,0 (-24%)	100,0 (-52%)	93,0 (-54%)	224,3 (-35%)
10324	820,0 (+29%)	127,0 (-39%)	107,0 (-47%)	351,3 (+1%)
10325	650,0 (+3%)	95,0 (-55%)	145,0 (-28%)	296,7 (-15%)
10326	415,0 (-35%)	30,0 (-86%)	70,0 (-65%)	171,7 (-51%)
10473	665,0 (+5%)	80,0 (-62%)	114,0 (-43%)	286,3 (-18%)
10474	620,0 (-2%)	30,0 (-86%)	360,0 (+80%)	336,7 (-3%)
10475	65,0 (-90%)	-	81,0 (-60%)	73,0 (-79%)
10476	50,0 (-92%)	-	80,0 (-60%)	65,0 (-91%)
10478	680,0 (+7%)	80,0 (-62%)	116,0 (-42%)	292,0 (-16%)
10479	715,0 (+13%)	30,0 (-86%)	30,0 (-85%)	258,3 (-26%)
10480	600,0 (-5%)	70,0 (-67%)	140,0 (-30%)	270,0 (-22%)
10481	650,0 (+3)	170,0 (-19%)	260,0 (+29%)	360,0 (+4%)
Среднее	502,4 (-20,8%)	92,8 (-55,7%)	172,1 (-14%)	256,9 (-32,5)
ГТК₁₀	1,57	1,03	0,8	1,13

Примечание: в скобках – отношение к стандарту

Note: the ratios to the reference (St) are parenthesized

стана (к-10475 и к-10476) показали отрицательную зависимость ($r = -0,99$), однако это связано с другими причинами: например, в 2018 г. оба образца в период вегетации были сильно поражены кукурузным мотыльком (7 баллов) и бактериозом (7 баллов), что, соответственно, не дало возможности образовать семена. Наибольшая зависимость продуктивности зерна от гидротермического коэффициента наблюдалась в 2018 г. (ГТК = 1,03) и в 2019 г. (ГТК = 0,83) в условиях умеренной засухи, наименьшая – в 2017 г., когда погодные условия были достаточно увлажненными (ГТК = 1,57). На рисунке 5 показана прямая зависимость продуктивности зерна от гидротермического коэффициента, рассчитанная с помощью регрессионного анализа (Dosprekhov, 1985), где коэффициент регрессии составил +550,5. Это означает, что увеличение ГТК на одну единицу приведет в среднем к увеличению продуктивности зерна на 550,5 г/м². Дисперсионным анализом (Dosprekhov, 1985) выявлено, что среда в большей степени влияла на продуктивность зерна проса (Fф 28,5 > F05 3,34), чем сам генотип растения (Fф 0,69 < F05 2,01).

Показатель крупности зерна – также важный технологический признак сорта. Семена крупнозерных образцов можно заделывать на большую глубину, что гарантирует получение нормальных всходов в любую весну, осо-

бенно при недостатке влаги. Крупнозерные сорта более технологичны как в семеноводстве, так и в крупяном производстве (Rumyantsev, 2012; Antimonov et al., 2018). Более крупные семена легче обрушиваются, дают больший выход пшена и оказывают влияние на формирование более высокого урожая.

В соответствии с классификатором СЭВ (Agafonov et al., 1982) очень крупным считается зерно с массой 1000 зерен более 8,0 г, крупным – 7,1–8,0 г, средним – 6,1–7,0 г, мелким – 5,0–6,0 г, очень мелким – менее 5,0 г. Значение массы 1000 семян у 16 образцов проса в среднем за три года находилось в пределах от 6,4 до 8,5 г, в 2017 г. – от 6 до 10 г, в 2018 г. – от 6 до 9 г, в 2019 г. – от 5 до 9 г. Стандарт имел крупное зерно только в 2017 г. (8 г), в 2018 и 2019 г. – мелкое (6 г). Наиболее благоприятным для крупности зерна оказался 2017 год, когда средняя масса 1000 зерен была равна 8,5 г, а самым неблагоприятным – 2019 г. (среднее значение 6,4 г). У большинства образцов семена в среднем за три года оказались крупными, у образцов к-888 и к-10325 – очень крупными, у образца к-10476 – мелкими. Все образцы, кроме трех (к-10275, к-10326, к-10476), имели крупность зерна больше на 4–23% (табл. 5, рис. 6), чем у стандарта (6,7 г). Стабильность по массе 1000 зерен не показал ни один образец,

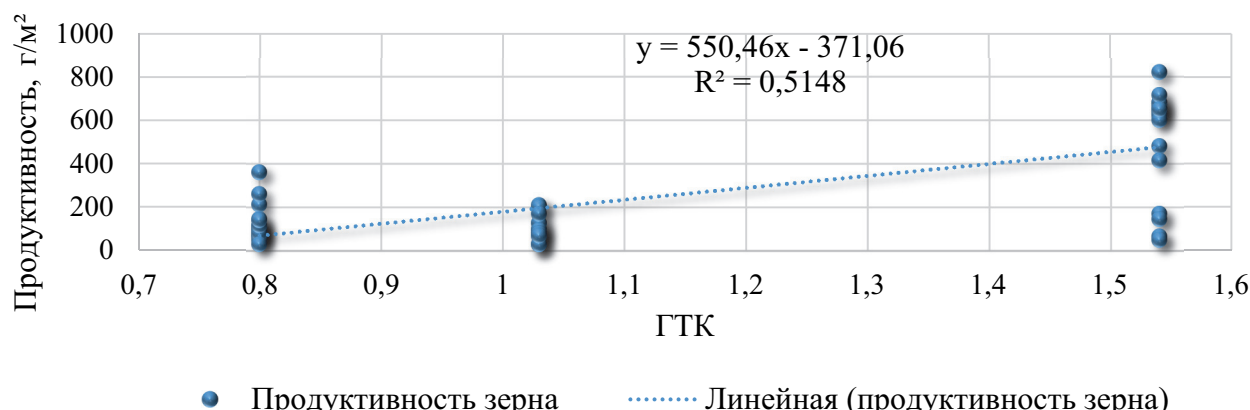


Рис. 5. Зависимость продуктивности изучаемых образцов проса от гидротермического коэффициента увлажнения за 2017–2019 гг. на Екатеринбургской опытной станции ВИР

Fig. 5. Dependence of the yield of the studied millet accessions on the hydrothermal moisture coefficient for 2017–2019 at Yekaterinino Experiment Station of VIR

Таблица 5. Масса 1000 зерен (крупнозерность) образцов проса, г
(Екатерининская опытная станция ВИР, 2017–2019 гг.)

Table 5. The weight of 1000 grains (large grain size) of millet accessions, g
(Yekaterinino Experiment Station of VIR, 2017–2019)

№ по каталогу ВИР	2017 г.	2018 г.	2019 г.	среднее
9994 (St)	8,0	6,0	6,0	6,7
888	9,0	9,0	7,0	8,3
10275	8,0	6,0	5,0	6,3
10306	10,0	7,0	7,0	8,0
10322	8,0	8,0	6,0	7,3
10324	9,0	8,0	7,0	8,0
10325	10,0	8,0	7,0	8,3
10326	8,0	6,0	5,0	6,3
10473	9,0	6,0	7,0	7,3
10474	9,0	7,0	7,0	7,7
10475	6,0	-	9,0	7,5
10476	6,0	-	6,0	6,0
10478	9,0	7,0	7,0	7,7
10479	10,0	8,0	6,0	8,0
10480	8,0	7,0	7,0	7,3
10481	9,0	7,0	5,0	7,0
среднее	8,5 ± 1,17	7,1 ± 0,91	6,4 ± 0,99	7,4 ± 0,69

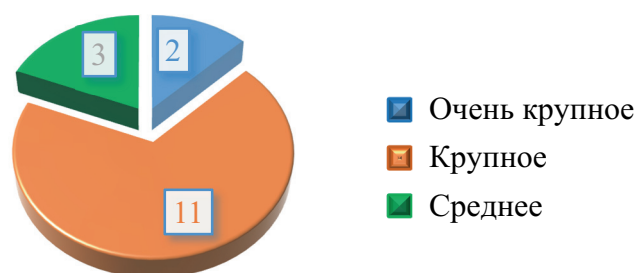


Рис. 6. Распределение массы 1000 зерен по изучаемым образцам на Екатеринбургской опытной станции ВИР в 2017–2019 гг.

Fig. 6. Distribution of 1000 grain weight across the studied accessions at Yekaterinino Experiment Station of VIR in 2017–2019

что, возможно, говорит о зависимости данного признака от природно-климатических условий ($F_{ф} 9,91 > F_{05} 3,32$), которые могут поддерживать или ослаблять сортовые характеристики ($F_{ф} 1,68 < F_{05} 2,01$).

Высота растений проса – важный биологический признак, определяющий устойчивость растения к полеганию, и во многом зависит от продолжительности вегетационного периода, климатических условий, степени повреждений сельскохозяйственными вредителями и болезнями, а также от сортовых особенностей. Высокорослые растения обычно формируют большие урожаи, но часто имеют, особенно при сильном ветре, дожде, меньшую устойчивость к полеганию и более длительный пе-

сокорослые (более 140 см) (Agafonov et al., 1982). Сорт-стандарт проса 'Горлинка' относится к среднерослым растениям (Antimonov et al., 2018). В наших исследованиях стандарт в 2017 г. был высотой 138 см, в 2018 г. – 77 см, в 2019 г. – 90 см, что в среднем показало 101,7 см. В 2017 г. изученные образцы оказались высокорослыми и очень высокорослыми (115–170 см); в 2018 г. – низко- и среднерослыми (60–95 см); в 2019 г. образцы проса варьировали от низкорослых (50 см) до высокорослых (125 см). При этом в 2017 г., когда наблюдалось вполне достаточное увлажнение в течение всего вегетационного периода, высота растений оказалась максимальной, в 2018 и 2019 г., при умеренной засухе, – минимальной (рис. 7).

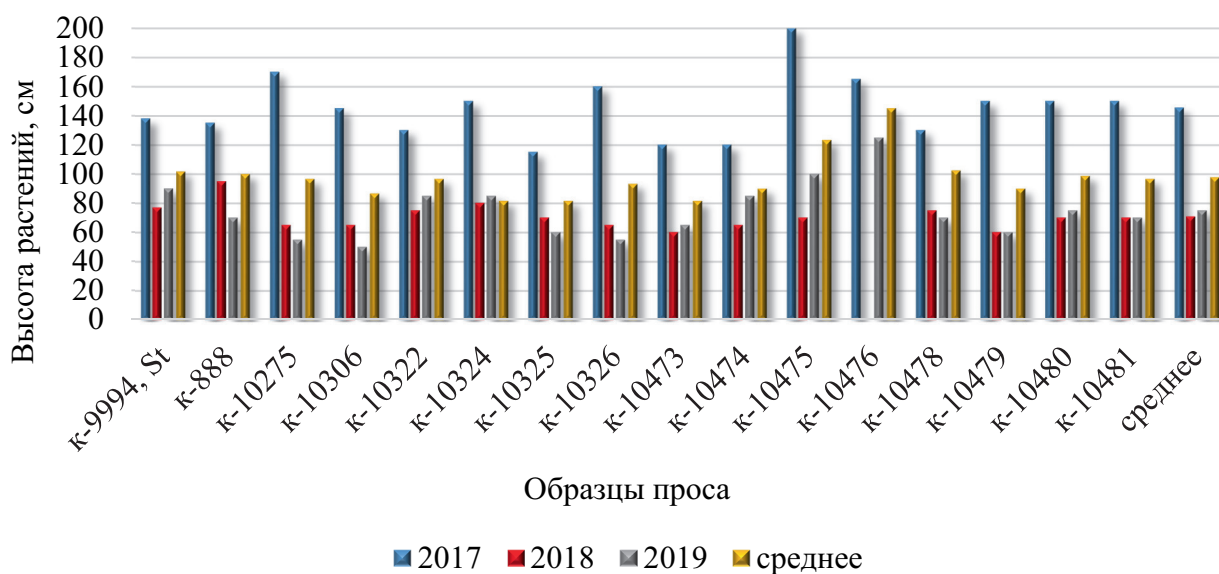


Рис. 7. Высота растений изучаемых образцов проса на Екатеринбургской опытной станции ВИР по годам (2017–2019 гг.)

Fig. 7. Plant height of the studied millet accessions at Yekaterinino Experiment Station of VIR by years (2017–2019)

риод вегетации. Низкорослые образцы менее урожайны, но более устойчивы к полеганию, наиболее удобны для механизированной уборки, меньше подвергаются воздействию вредителей и болезней. Поэтому в настоящее время актуально создание низкорослых образцов с хорошей продуктивностью зерна.

Растения проса по высоте делятся на очень низкорослые (менее 50 см), низкорослые (50–80 см), среднерослые (81–110 см), высокорослые (111–140 см) и очень вы-

сокорослые (более 140 см) (Agafonov et al., 1982). Сорт-стандарт проса 'Горлинка' относится к среднерослым растениям (Antimonov et al., 2018). В наших исследованиях стандарт в 2017 г. был высотой 138 см, в 2018 г. – 77 см, в 2019 г. – 90 см, что в среднем показало 101,7 см. В 2017 г. изученные образцы оказались высокорослыми и очень высокорослыми (115–170 см); в 2018 г. – низко- и среднерослыми (60–95 см); в 2019 г. образцы проса варьировали от низкорослых (50 см) до высокорослых (125 см). При этом в 2017 г., когда наблюдалось вполне достаточное увлажнение в течение всего вегетационного периода, высота растений оказалась максимальной, в 2018 и 2019 г., при умеренной засухе, – минимальной (рис. 7).

еще до выметывания метелки, пораженные метелки понижают, и в них не образуется зерно. Устойчивость проса к болезням в зависимости от поражения (%) делится на: очень сильную (< 10%) – 9 баллов, сильную (10–35%) – 7, среднюю (36–60%) – 5, слабую (61–85%) – 3 и очень слабую (> 85%) – 1 балл (Agafonov et al., 1982). Экстремальные климатические условия 2018 г. (дождливый июль и сухой август) отрицательно сказались на росте и созревании проса, образцы были поражены бактериозом (устойчивость 1–3 балла), в том числе и сорт-стандарт (3 балла). Устойчивость в 5 баллов имели образцы к-10275, к-10324, к-888. В 2019 г. в условиях умеренной засухи устойчивость половины исследуемых образцов была 7 баллов (к-10275, к-10322, к-10324, к-10326, к-10473, к-10478, к-10474), у остальных, в том числе и у стандарта, – 5 баллов (рис. 8). В 2017 г. в условиях вполне достаточного увлажнения слабую устойчивость имел образец к-10275 (3 балла), сильную – к-10325 (7 баллов), остальные – среднюю (5 баллов), в том числе и стандарт (см. рис. 8). По данным трехлетнего изучения были выделены два наиболее устойчивые к бактериозу образца проса – к-10324 и к-10325 (средний балл 5,7).

63,46 г/м², а при усилении устойчивости к бактериозу на 1 балл – на 57,53 г/м² (рис. 9).

Коэффициент корреляции продуктивности зерна в среднем за три года изучения показал отрицательную связь средней силы с высотой растения ($r = -0,53$) и с продолжительностью вегетационного периода ($r = -0,57$), среднюю положительную связь с массой 1000 зерен ($r = 0,43$) и с устойчивостью к бактериозу ($r = 0,46$). Связь высоты растения с продуктивностью зерна в 2017 г. была отрицательной ($r = -0,67$), в 2018 г. – положительной ($r = 0,7$), в 2019 г. – слабopоложительной ($r = 0,16$). Вегетационный период в 2017 г. имел сильную отрицательную зависимость от продуктивности зерна ($r = -0,76$), в 2018 г. – среднюю положительную ($r = 0,34$), в 2019 г. – слабую отрицательную связь ($r = -0,13$). Крупность зерна с продуктивностью зерна положительно коррелировала в 2017 г. ($r = 0,74$), в 2018 г. – слабopоложительно ($r = 0,14$), в 2019 г. – среднеположительно ($r = 0,46$). Зависимость растения от устойчивости к бактериозу и продуктивности зерна в 2017 г. отсутствовала ($r = -0,01$), в 2018 г. была средней ($r = 0,52$), в 2019 г. – слабой отрицательной ($r = -0,14$).

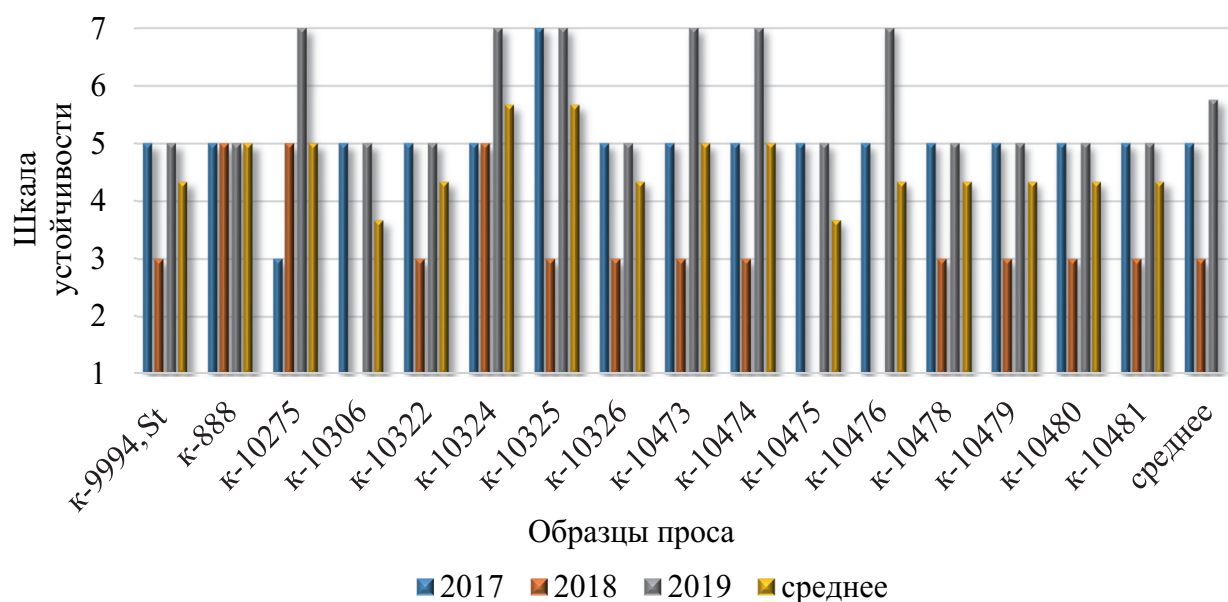


Рис. 8. Устойчивость образцов проса к бактериозу
(Екатерининская опытная станция ВИР, 2017–2019 гг.)

Fig. 8. Resistance of millet accessions to bacterial pathogens
(Yekaterinino Experiment Station of VIR, 2017–2019)

Изучены влияния между продуктивностью зерна и высотой растений проса, продолжительностью вегетационного периода, массой 1000 зерен, устойчивостью к бактериозу у изучаемых образцов в среднем за три года. Коэффициент регрессии, рассчитанный по Б. А. Доспехову (Dospikhov, 1985), зависимости продуктивности зерна от высоты растения составил –3,6, от продолжительности вегетационного периода – –2,2, от крупности зерна – +63,46, от устойчивости к бактериозу – +57,53, то есть выявлена зависимость, которая показывает, что при увеличении высоты растения на 1 см продуктивность зерна снизится в среднем на 3,6 г/м², при увеличении периода вегетации на 1 день – на 2,2 г/м², при увеличении массы 1000 зерен на 1 г продуктивность увеличится на

Основываясь на выявленных корреляциях и коэффициентах регрессий, можно выделить образец к-888 из Челябинской обл. с наиболее высоким уровнем продуктивности, крупнозерности, низкорослости, скороспелости, устойчивости к бактериозу по сравнению со стандартом. Образцы к-10322, к-10324, к-10325, к-10473 выделены по скороспелости, низкорослости, крупности зерна и устойчивости к бактериозу; к-10306, к-10479, к-10480, к-10481 – по скороспелости, низкорослости и массе 1000 зерен. Еще один образец (к-10326) оказался лучше стандарта по скороспелости, низкорослости и устойчивости к бактериозу. Местный образец из Таджикистана (к-10476) не превысил стандарт ни по одному признаку (табл. 6).

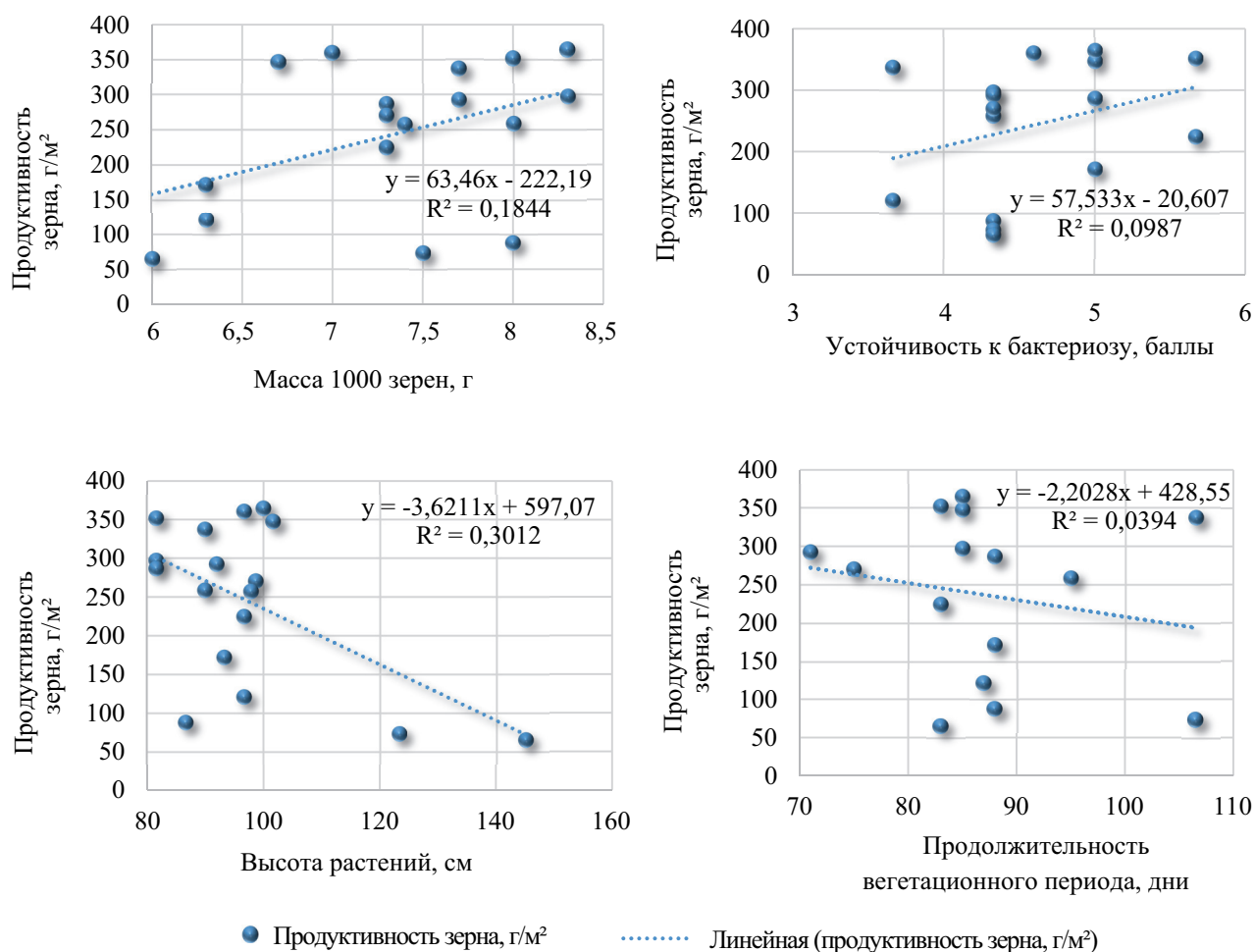


Рис. 9. Анализ зависимости продуктивности зерна образцов проса от высоты растений, продолжительности вегетационного периода, массы 1000 зерен и устойчивости к бактериозу (Екатерининская опытная станция ВИР, среднее за 2017–2019 гг.)

Fig. 9. Analysis of the dependence of millet grain yield on plant height, growing season duration, 1000 grain weight, and resistance to bacteria (Yekaterinino Experiment Station of VIR, mean for 2017–2019)

Таблица 6. Показатели образцов проса в среднем за три года изучения (Екатерининская опытная станция ВИР, 2017–2019 гг.)

Table 6. Indicators of millet accessions averaged for the three years of testing (Yekaterinino Experiment Station of VIR, 2017–2019)

№ по каталогу ВИР	Вегетационный период, дни	Высота растений, см	Масса 1000 зерен, г	Продуктивность зерна, г/м ²	Устойчивость к бактериозу, балл
9994 (St)	89,0	101,7	6,7	352,0	4,3
888	85,0	100,0	8,3	364,0	5,0
10275	85,0	96,7	6,3	284,0	5,0
10306	87,0	86,7	8,0	166,0	3,7
10322	88,0	96,7	7,3	224,3	5,0
10324	83,0	81,7	8,0	351,3	5,7
10325	83,0	81,7	8,3	296,7	5,0
10326	85,0	93,3	6,3	171,7	5,0

Таблица 6. Окончание
Table 6. The end

№ по каталогу ВИР	Вегетационный период, дни	Высота растений, см	Масса 1000 зерен, г	Продуктивность зерна, г/м ²	Устойчивость к бактериозу, балл
10473	88,0	81,7	7,3	286,3	5,0
10474	88,0	90,0	7,7	336,7	4,3
10475	106,5	123,3	7,5	301,7	3,0
10476	106,5	145,0	6,0	65,0	3,0
10478	83,0	102,5	7,7	292,0	5,0
10479	71,0	90,0	8,0	258,3	4,3
10480	95,0	98,7	7,3	270,0	4,3
10481	75,0	96,7	7,0	360,0	4,3
НСР05	5,17	8,94	0,137	45,33	0,4

Заключение

Территория Екатеринбургской опытной станции ВИР (Тамбовская обл.) относится к зоне умеренно континентального климата и недостаточного увлажнения. Просо, как засухоустойчивая культура, в условиях ЕОС показало широкое разнообразие признаков и свойств.

Исследования новых образцов проса коллекции ВИР, проведенные в течение трехлетнего периода, позволили выделить наиболее перспективные образцы, превосходящие стандарт:

– по скороспелости: к-10479 ('Дождь', Беларусь) – 71 день; к-10481 ('Западное', Беларусь) – 75 дней; к-10324 (Орловская обл.), к-10325 (Орловская обл.), 10478 ('Нижеволжское', Волгоградская обл.) – 83 дня; к-888 (местное, Челябинская обл.), к-10275 ('Квартет', Орловская обл.) – 85 дней; к-10306 ('Поволжское 59', Самарская обл.) – 87 дней; к-10322 ('Союз', Орловская обл.), к-10473 ('Яркое 120', Казахстан) и к-10474 ('Кавказские зори', Кабардино-Балкария) – 88 дней;

– по продуктивности зерна: 364 г/м² – к-888, 360 г/м² – к-10481 ('Западное', Беларусь);

– по низкорослости: 82 см – к-10324, 87 см – к-10306, 90 см – к-10474 и к-10479, 94 см – к-10326 и к-10481, 99 см – к-10480 ('Камышенское', Беларусь), 100 см – к-888;

– по крупности зерна: 8,3 г – к-888 и к-10325; 8,0 г – к-10306, к-10324 и к-10479; 7,7 г – к-10474 и к-10478; 7,5 г – к-10475 (местное, Таджикистан); 7,3 г – к-10322, к-10473 и к-10480; 7 г – к-10481;

– по устойчивости к бактериозу: 5 баллов – к-888, к-10275, к-10473 и к-10474; 5,7 баллов – к-10324, к-10325.

Регрессионный и корреляционный анализы показали положительную зависимость продуктивности зерна проса изучаемых образцов от погодных условий ($r = 0,89$), от крупности зерна ($r = 0,43$), от устойчивости к бактериозу ($r = 0,46$), отрицательную – от высоты растений ($r = -0,53$) и от продолжительности вегетационного периода ($r = -0,57$). Дисперсионным анализом выявлено, что у изучаемых образцов проса условия среды в большей степени влияли на продуктивность зерна ($F_{28,5} > F_{05} 3,34$), чем генотип самого растения ($F_{0,69} < F_{05} 2,01$).

Выделены наиболее ценные экземпляры по комплексу признаков, которые могут использоваться в селекции:

к-888 (местное, Челябинская обл.) и к-10481 ('Западное', Беларусь). Образцы превосходили районированный стандарт 'Горлинка' по скороспелости, низкорослости, крупности и продуктивности зерна, устойчивости к бактериозу.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2020-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2020-0006 "Search for and viability maintenance, 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".

References / Литература

- Agafonov N.P., Kurtseva A.F. The study of the global millet collection (guidelines) [Izucheniye mirovoy kollektzii prosa [metodicheskiye ukazaniya]]. Leningrad: VIR; 1988. [in Russian] (Агафонов Н.П., Курцева А.Ф. Изучение мировой коллекции проса: методические указания). Ленинград: ВИР; 1988).
- Agafonov N.P., Kurtseva A.F., Korneichuk V.A., Banyai L. Broad unified COMECON list of descriptors and international COMECON list of descriptors for sp. *Panicum miliaceum* L. (Shirokiy unifikirovanny klassifikator SEV i mezhdunarodny klassifikator SEV vida *Panicum miliaceum* L.). Leningrad: VIR; 1982. [in Russian] (Агафонов Н.П., Курцева А.Ф., Корнейчук В.А., Баняи Л. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ вида *Panicum miliaceum* L. Ленинград: ВИР; 1982).
- Antimonov A.K., Antimonova O.N., Syrkina L.F., Kosykh L.A. Introduction new gene sources broomcorn millet for

- breeding under the conditions in the Middle Volga region. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2018;11(1):154-157. [in Russian] (Антимонов А.К., Антимонова О.Н., Сыркина Л.Ф., Косых Л.А. Интродуцирование новых генисточников проса посевного для селекции в условиях Среднего Поволжья. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2018;11(1):154-157). DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10174
- Antimonov A.K., Denmina E.A., Kazarina A.V., Kosykh L.A., Maslova G.Ya., Stolpivskaya E.V. Catalogue of crop cultivars and hybrids developed at the Povolzhsky Research Institute of Plant Breeding and Seed Production (Katalog sortov i gibridov selskokhozyaystvennykh kultur selektsii FGBNU "Povolzhsky NIISS"). A.I. Kincharov (ed.). Kinel; 2018. [in Russian] (Антимонов А.К., Денмина Е.А., Казарина А.В., Косых Л.А., Маслова Г.Я., Столпивская Е.В. Каталог сортов и гибридов сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ «Поволжский НИИСС» / под ред. А.И. Кинчарова. Кинель; 2018).
- Dospekhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агрпромиздат; 1985).
- Khoreva V.I., Kurtseva A.F. Biochemical characteristics of millet varieties in connection with the problem of grain quality (Biokhimicheskaya kharakteristika sortov prosa v svyazi s problemoy kachestva zerna). *Agrarian Russia*. 2006;(6):32-36. [in Russian] (Хорева В.И., Курцева А.Ф. Биохимическая характеристика сортов проса в связи с проблемой качества зерна. *Аграрная Россия*. 2006;(6):32-36).
- Kornilov A.A. Millet (Proso). Moscow; 1960. [in Russian] (Корнилов А.А. Просо. Москва; 1960).
- Kulemina T.V. Melanosis as a factor reducing grain quality in proso millet (*Panicum miliaceum* L.). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(4):186-192. [in Russian] (Кулемина Т.В. Меланоз как фактор низкого качества зерна проса посевного (*Panicum miliaceum* L.) (обзор). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(4):186-192). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-186-192
- Kulemina T.V., Khoreva V.I., Shelenga T.V., Kurtseva A.F., Sidorenko V.S. The grain quality of milletlike cultures in conditions of the south Nonblack Earth Zone of Russia. *Agrarian Russia*. 2010;(1):19-23. [in Russian] (Кулемина Т.В., Хорева В.И., Шеленга Т.В., Курцева А.Ф., Сидоренко В.С. Биохимические показатели качества зерна просовидных культур в условиях юга Нечерноземной зоны РФ. *Аграрная Россия*. 2010;(1):19-23).
- Lysov V.N. Millet (Proso). Leningrad: Kolos; 1968. [in Russian] (Лысов В.Н. Просо. Ленинград: Колос; 1968).
- Rumyantsev A.V., Antimonov A.K., Antimonova O.N. Results and prospects of millet breeding for yield and grain quality in the P.N. Konstantinov Povolzhsky Research Institute of Plant Breeding and Seed Production (Itogi i perspektivy selektsii prosa na urozhaynost i krupnyanye kachestva v Povolzhskom NIISS imeni P.N. Konstantinova). *Legumes and Groat Crops*. 2012;(1):77-80. [in Russian] (Румянцев А.В., Антимонов А.К., Антимонова О.Н. Итоги и перспективы селекции проса на урожайность и крупяные качества в Поволжском НИИСС имени П.Н. Константинова. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2012;(1):77-80).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The author declares the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Кулемина Т.В. Изучение хозяйственно ценных признаков новых образцов проса коллекции ВИР в условиях Екатеринбургской опытной станции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(4):48-60. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-48-60

Kulemina T.V. Studying agronomic characters in new millet accessions from the VIR collection at Yekaterinino Experiment Station of VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):48-60. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-48-60

ORCID:

Kulemina T.V. <https://orcid.org/0000-0002-5069-7390>

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-48-60>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Автор одобрил рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

Характеристика сортов гречихи Беларуси и Украины в условиях Ленинградской области

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-61-70

УДК 633.12:631.527

Поступление/Received: 22.12.2020

Принято/Accepted: 20.05.2021



О. И. РОМАНОВА

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, 42, 44
✉ o.romanova@vir.nw.ru

Description of buckwheat cultivars from Belarus and Ukraine in the environments of Leningrad Province

O. I. ROMANOVA

N. I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
✉ o.romanova@vir.nw.ru

Актуальность. Гречиха – ценнейшая крупяная культура, востребованная как в России, так и за рубежом. Коллекция гречихи ВИР – самая крупная коллекция в мире, содержащая образцы из всех регионов Европы и Азии. Изучение и систематизация знаний о сохраняемом разнообразии представителей рода *Fagopyrum* Mill. невозможны без перехода к использованию максимально детальных дескрипторов, использующих признаки, минимально зависящие от различий условий выращивания.

Материалы и методы. Объект исследований – 17 сортов гречихи из Украины и Беларуси и два стандарта из России. Изучение проводили в Ленинградской области. Методическая основа исследования – дескрипторы гречихи IPGRI и личные рекомендации Н. В. Фесенко. Статистическая обработка данных (среднее арифметическое, стандартное отклонение, модальное значение и коэффициент вариации) – по П. Ф. Рокицкому.

Результаты. Сорта сформировали свойственный им габитус растений и имели хорошую завязываемость плодов – средний балл 3,3–4,9 из пяти. Детерминантным типом роста стебля характеризовались 10 сортов. На стебле сформировались 2,7–6,7 генеративных узлов и 4–6 вегетативных; на двух верхних ветвях – по 1,9–4,7 генеративных и 0,8–2,3 вегетативных.

Заключение. Подтверждена возможность выращивания гречихи средней группы спелости в Ленинградской области. Мода всех изучавшихся сортов по числу вегетативных узлов составляла 4–5, что является показателем среднеспелости. Результаты изучения метамерии стебля и двух верхних ветвей, выраженные модальными значениями, занесены в карту «хозяйственной годности» сортов записью: стебель детерминантный; зона ветвления 4+1+2; зона плодообразования 3+3+3; средний балл плодообразования 4,8. Представленная форма данных наиболее полно характеризует сорт по потенциалу скороспелости и продуктивности. В зависимости от задачи можно использовать показатели для главного стебля или двух верхних ветвей. Запись значений в виде формулы удобна и не несет иных смысловых нагрузок.

Ключевые слова: *Fagopyrum esculentum*, образец, зона ветвления стебля, зона плодообразования стебля, скороспелость, узлы.

Background. Buckwheat is an extremely valuable groat crop in demand both in Russia and abroad. The buckwheat collection held by VIR is the largest in the world. Studying and systematizing knowledge about the conserved diversity of the genus *Fagopyrum* Mill. representatives cannot be efficient without switching to the use of the most detailed descriptors containing plant characters least dependent on differences in growing conditions.

Materials and methods. Seventeen buckwheat cultivars from Ukraine and Belarus and two references from Russia were studied in Leningrad Province. The methodological basis of the study included the IPGRI buckwheat descriptors and personal recommendations of N. V. Fesenko. Statistical data processing was performed according to P. F. Rokitsky.

Results. The cultivars formed their typical plant habitus and demonstrated good fruit setting – an average score was 3.3–4.9 out of five. The determinant stem growth was observed in 10 cultivars. The stem developed 2.7–6.7 generative nodes and 4–6 vegetative ones, while 1.9–4.7 generative and 0.8–2.3 vegetative nodes were formed on the two upper branches.

Conclusion. The study confirmed that medium-ripening buckwheat can be grown in Leningrad Province. The modal value of the number of vegetative nodes for the studied cultivars was 4–5, which is an indicator of intermediate ripening. The results of studying the metamerism of the stem and the two upper branches, expressed by modal values, were recorded in the “agricultural fitness” passport for the tested cultivars as follows: determinant stem; branching zone 4+1+2; fruit-forming zone 3+3+3; average score of fruit formation 4.8. The presented data format most fully characterizes a cultivar in terms of the potential of its earliness and productivity. Depending on the task, indicators for the main stem or for the two upper branches can be used. Recording values in the form of a formula is convenient and does not imply any other meanings.

Key words: *Fagopyrum esculentum*, accession, stem branching zone, stem fruiting zone, earliness, nodes.

Введение

Гречиха – ценнейшая крупяная культура. Гречневая крупа – незаменимый продукт не только лечебного и детского, но и повседневного сбалансированного питания, способствующего профилактике сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний (Stoletova, 1958; Fesenko, 1983; Ikeda K., Ikeda S., 2016). Основными производителями гречихи в мире являются Россия, Китай и Украина. Беларусь занимает седьмое место в этом рейтинге, Казахстан – девятое (Fesenko et al., 2017). В России гречиху выращивают в регионах с умеренным климатом. Основной регион возделывания включает Алтайский край, Башкирию, Орловскую и Оренбургскую области, Республику Татарстан, Дальний Восток. Официальная статистика не приводит данных о посевах площадей, занятых гречихой, севернее южной части Нечерноземной зоны. Однако ученые России давно показали, что «северная граница возделывания гречихи <...> на северо-западе <...> проходит через верховья р. Невы, Вологду, Котлас» (Stoletova, 1958, p. 22). Следовательно, Ленинградская область является «резервным» районом для выращивания гречихи. Изучение коллекционных образцов, успешно проводящееся сотрудниками ВИР в этом районе с 50-х годов XX века, подтверждает это положение.

Селекция сортов гречихи наиболее эффективно осуществляется в России силами Федерального научного центра зернобобовых и крупяных культур (ВНИИЗБК) и Татарского НИИ сельского хозяйства, а также Башкирского НИИ сельского хозяйства и Федерального научного центра агроботехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки. В Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ на 2020 год, числятся 54 сорта гречихи, два из которых районированы еще в 1938 ('Богатырь') и 1939 г. ('Амурская местная'); в 1954 г. добавился сорт 'Калининская' (State Register for Selection..., 2020).

На Украине селекцией гречихи наиболее результативно занимаются в Институте земледелия НААН и в Каменец-Подольском СХИ. В Госреестре Украины на 2020 год зарегистрированы 27 сортов украинской селекции, а также сорта 'Дикуль' и 'Девятка' из России (State Register of Plant Varieties..., 2020). В Беларуси доминируют сорта РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию», которые в последние годы занимают 99,4% посевных площадей этой культуры в республике. Всего районированы 14 сортов гречихи, и в Госреестр Беларуси (State Register of Varieties..., 2020) включены два сорта иностранной селекции – 'Дикуль' (Россия) и 'Кора' (Польша). В Казахстане селекционная работа с гречихой не настолько успешная, известны только сорта серии Шортандинская (Ш. 1, Ш. 2, Ш. 3 и Ш. крупнозерная).

Коллекция гречихи ВИР, ведущая свою историю с 1923 г., является крупнейшей мировой коллекцией. Она насчитывает 2250 образцов местных популяций и селекционных сортов, дикорастущих родичей гречихи обыкновенной (*Fagopyrum esculentum* Moench).

Исторически так сложилось, что многие коллекции ВИР ориентированы на селекцию и изучение образцов по признакам, востребованным в селекционном процессе. В работе с коллекцией гречихи придерживаются того же направления, однако биологические особенности культуры (перекрестное энтомофильное опыление, гетеростилия, одновременное цветение и плодобразование) потребовали от селекционеров на совре-

менном этапе изменения стратегии отбора для увеличения урожайности культуры и, естественно, смены признаков для отбора.

Селекционеры ВНИИЗБК обратили внимание на необходимость «ограничения использования в селекции гречихи признаков, характеризующих мощность растений: биомасса растений, масса семян с растения, размер соцветий и другие. Любая селекция на повышение конкурентоспособности отдельных растений в посеве сорта может привести к снижению урожая семян, хотя при анализе конкретных растений корреляция их мощности и семенной продуктивности всегда положительна. Поэтому успех в селекции часто связан с преодолением устойчивых корреляций» (Fesenko et al., 2017, p. 22). Это положение было подтверждено созданием широкого разнообразия продуктивных морфотипов гречихи, подбором малозатратных для определения, но информативных признаков для оценки продукционных свойств растений и популяций гречихи.

У гречихи длительность периода вегетации сильно колеблется по годам в зависимости от погодных условий. Так, у сорта 'Скороспелая 81' продолжительность периода вегетации составляла от 64 до 82 суток за семь последовательных лет изучения в Орловской обл. (Fesenko et al., 2006). Для сорта гречихи среднеспелой группы селекционеры Украины указывают еще более значительный размах длины вегетационного периода – от 63 до 103 дней.

Семенная продуктивность гречихи – результат взаимодействия сложного комплекса процессов, сильно варьирующих под воздействием среды (Fesenko et al., 2006). В гречихосеющем Поволжье неурожай отмечаются раз в пять лет.

Для повышения эффективности отборов в популяциях гречихи по вегетационному периоду использовали анализ метамерного строения растений, в частности развития зоны ветвления побегов (Fesenko et al., 2006). Было показано, что число узлов в зоне ветвления стебля (ЗВС) тесно коррелирует с продолжительностью вегетативного («всходы – начало цветения») и вегетационного («всходы – созревание») периода растений (Fesenko, 1983). Установлено, что признак «число узлов ЗВС» имеет высокую степень наследуемости, но в то же время подвержен определенной степени изменчивости в зависимости от метеорологических условий (Fesenko, Gurinovich, 1999: cit. by Fesenko et al., 2017). Доказана значимость в формировании урожая зерна в сплошном посеве гречихи не только главного побега, но и двух верхних ветвей (Fesenko, 1983).

Для описания архитектоники вегетативной сферы растений был предложен интегральный показатель – метамерийная формула растения (сорта), представляющая собой средневзвешенное число вегетативных узлов на стебле и ветвях первого порядка (Fesenko et al., 2006). Высокая информативность признака «число узлов ЗВС» для характеристики адаптивных свойств популяций гречихи, в частности продолжительности периода вегетации, была подтверждена и нами в серии географических посевов в России и за рубежом (Fesenko et al., 2002; Fesenko et al., 2017). Показано, что межсортные различия по этому показателю достаточно стабильны и не зависят от внешних условий. Таким образом, было предложено использовать показатели: число вегетативных узлов на стебле и ветвях первого порядка (две первые ветви сверху) – не только для отбора скороспелых форм до цветения, но и для описания коллекционных образцов в раз-

ных зонах. Собранные с использованием этих дескрипторов данные позволят эффективнее обмениваться информацией о генетическом потенциале сорта с исследователями гречихи в России и за рубежом. Дополнительно необходимо использовать менее стабильный, но информативный признак «число продуктивных узлов на стебле» (Fesenko et al., 2002).

Основные идеи и результаты работ по использованию анализа метамерного строения растения гречихи в селекции и изучении сортовых популяций регулярно докладываются на Международных симпозиумах по гречихе и хорошо известны в Канаде, Японии, Китае, Непале и других странах.

Цель исследования – изучить и описать с использованием современных дескрипторов новые сорта гречихи селекции Беларуси и Украины на северной границе возможного возделывания гречихи.

Материалы и методы

В изучении находились 17 образцов из Украины и Беларуси, поступившие в коллекцию ВИР после 2000 г., два сорта-стандарта (St.) из России – ‘Баллада’ и ‘Дикуль’. Двенадцать из исследованных сортов районированы в стране происхождения (табл. 1).

Изучение проводили в Северо-Западном регионе России на научно-производственной базе (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (59°43′ северной широты, 30°25′ восточной долготы на высоте 74 м н. у. м.). Максимальная продолжительность светового дня в июне – 18 часов 46 минут (в этот период происходит развитие вегетативной сферы растения гречихи, закладка генеративных органов и переход к цветению). Средняя температура воздуха июня – +16,3°C, средняя сумма осадков – 65,9 мм, гидротермический коэффициент – 1,5.

Высевают гречиху на опытных полях НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» ежегодно в один временной промежуток – с 25 по 30 мая. Точная дата для посева в Ленинградской области не может быть выбрана, так как особенностью климата этого региона являются непродолжительные, но интенсивные осадки в конце мая. Посеянные и не успевшие дать всходы семена гречихи на легких по механическому составу почвах иногда после дождя полностью затягиваются вглубь пахотного горизонта. Посев, уход за растениями, уборку осуществляли по методике ВИР (Shmaraev, 1968).

Посев проводили на делянках с учетной площадью 1 кв. м, глубина заделки семян – 5–6 см, норма высева – 100 всхожих семян на 1 кв. м. Анализировали по 20 расте-

Таблица 1. Сорта гречихи, изучавшиеся на НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР»
Table 1. Buckwheat cultivars studied in Leningrad Province at Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Сорт / Cultivar	Происхождение / Country of origin	Характеристика оригинатора / Originator's description	Статус в стране происхождения / Status in the country of origin
4572	Влада	Беларусь	среднеспелый, диплоид, детерминант	районирован
4573	Кармен	Беларусь	среднеспелый, диплоид, детерминант	районирован
4576	Феникс	Беларусь	среднеспелый, диплоид, детерминант	районирован
4577	Сапфир	Беларусь	среднеспелый, диплоид, детерминант	районирован
4578	Лена	Беларусь	среднеспелый, тетраплоид, детерминант	районирован*
4579	Дуэт	Беларусь		
4581	Смуглянка	Беларусь	среднеспелый, диплоид, детерминант	районирован
4587	Ареса	Беларусь		
4588	Аметист	Беларусь	среднеспелый, диплоид, индетерминант	районирован*
4589	Анка	Беларусь		
4593	Лакнея	Беларусь	среднеспелый, диплоид, детерминант	районирован
4567	Анисия	Украина		

Таблица 1. Продолжение

Table 1. Continued

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Сорт / Cultivar	Происхождение / Country of origin	Характеристика оригинатора / Originator's description	Статус в стране происхождения / Status in the country of origin
4574	Надежда	Украина, Киевская обл.		
4580	Ажурная	Украина		
4585	Оранта	Украина, Киевская обл.	среднеспелый, диплоид	районирован
4586	Киевский синтетик	Украина, Киевская обл.		
4594	Лилея	Украина, Киевская обл.	среднеспелый, диплоид, индетерминант	районирован
4398	Баллада, St.	Россия, Орловская обл.	среднеспелый, диплоид, индетерминант	районирован (в том числе Северо-Западный регион России)
4523	Дикуль, St.	Россия, Орловская обл.	среднеспелый, диплоид, детерминант	районирован (в том числе Северо-Западный регион России, Беларусь, Украина)

Примечание: St. – сорт-стандарт; * Исключен с 01.2020

Note: St. – reference cultivar; * Excluded since Jan. 2020

ний каждого образца, отобранных из внутренней части деланки (удаляли 2 крайних растения в рядке) для исключения краевого эффекта, в фазу уборочной спелости. Изучали признаки: число вегетативных узлов на стебле и двух верхних ветвях первого порядка; число генеративных узлов на стебле и двух верхних ветвях; число соцветий на растении; завязываемость плодов (глазомерно, балл от 1 до 5); высота растения и тип развития стебля. Методической основой исследования послужили дескрипторы гречихи IPGRI (Descriptors for Buckwheat..., 1994) и рекомендации Н. В. Фесенко, основные положения которых представлены в монографии «Гречиха» (Fesenko, 1983).

Число вегетативных узлов (с ветвями и без них) фиксировали с нижнего узла (для главного стебля – с семядольного) и по узел перед первым соцветием. Эта зона

называется «зона ветвления стебля» (ЗВС). Число генеративных узлов учитывали с узла первого соцветия и по верхушечное. В случае если узлы под последним соцветием не разошлись на 1 см и более, их засчитывали как один. Совокупность генеративных узлов и междоузлий – «зона плодообразования стебля» (ЗПС).

Статистическую обработку данных (среднее арифметическое, стандартное отклонение, модальное значение и коэффициент вариации) выполняли по П. Ф. Рокицкому (Rokitsky, 1973) с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel.

Погодные условия вегетационного периода 2017–2019 гг. не отличались стабильностью. Среднемесячные температуры воздуха в июле и августе 2019 г. имели самые низкие значения, однако были всего на три градуса ниже средних за предыдущие 28 лет (табл. 2). Значитель-

Таблица 2. Характеристика метеорологических условий периода вегетации образцов гречихи (Пушкин, 2017–2019 гг., данные метеостанции ВИР)

Table 2. Description of weather conditions during the growing season of buckwheat accessions (Pushkin, 2017–2019, data provided by the VIR weather station)

Год/месяц	Температура, °С				Осадки, сумма, мм			
	2017	2018	2019	1990–2017, среднее	2017	2018	2019	1990–2017, среднее
июнь	15,4	15,1	17,7	16,3	119,3	9,2	33,9	65,9
июль	17,7	19,2	15,8	19,1	177,9	77,1	58,0	77,7
август	18,2	16,7	15,4	17,0	237,4	42,9	24,9	74,5

ные различия по годам изучения отмечены по сумме выпавших осадков: вегетационный период гречихи 2017 г. характеризовался превышением средних значений в 2,0–2,5 раза, а июнь и август 2018 и 2019 г. – пониженными значениями суммы выпавших осадков. В целом погодные условия всех трех лет изучения оказались благоприятными для роста и развития растений гречихи. Температура воздуха выше 30°C на продолжительное время не поднималась, и массовой гибели семян (при развитых плодовых оболочках) не наблюдали.

Результаты

Коэффициент вариации (V) средних значений признаков всех сортов за три года изучения был ниже 10%, однако, в силу биологических особенностей гречихи, выравнивание сортов по большинству признаков не столь высока. Поэтому мы представляем данные изучения сортов гречихи в таблицах 3 и 4 как объединенную популяцию сорта за три года и стандартное отклонение как меру неоднородности сорта.

Таблица 3. Характеристика сортов по основным селекционно ценным признакам (Пушкин, 2017–2019 гг.)
Table 3. Description of buckwheat cultivars according to main characters valuable for breeding (Pushkin, 2017–2019)

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Сорт / Cultivar	Высота растения, см / Plant height, cm (\bar{x} , s)	Тип роста стебля / Stem growth type	Число генеративных узлов на стебле, шт. / Number of generative nodes on the stem (\bar{x} , s, Mo)	Число соцветий на растении, шт. / Number of inflores- cences per plant, pcs (\bar{x} , s)	Завязываемость пло- дов, балл / Fruit set- ting rate, score (\bar{x} , s)
Сорта Беларуси						
4572	Влада	110,2±10,03	дет.*	3,5±0,79/3	21,0±8,12	4,9±0,26
4573	Кармен	112,6±17,29	дет.	5,6±0,82/6	16,9±3,04	3,3±0,67
4576	Феникс	76,9±9,33	дет.	2,9±0,35/3	21,8±8,95	3,6±0,71
4577	Сапфир	84,2±7,69	дет.	2,9±0,66/3	20,3±8,52	4,7±0,63
4578	Лена (4п)	103,8±8,55	дет.	3,1±0,44/3	13,3±3,33	4,5±0,70
4579	Дуэт	86,0±8,27	индет.**	3,1±0,30/3	20,7±5,10	4,4±0,70
4581	Смуглянка	89,3±4,63	дет.	2,9±0,51/3	19,6±4,99	4,8±0,41
4587	Ареса	105,7±12,21	индет.	4,7±0,94/4	15,6±4,00	4,5±0,67
4588	Аметист	111,3±2,46	индет.	7,6±1,42/8	31,3±11,06	4,0±0,87
4589	Анка	100,0±11,61	индет.	6,0±1,37/5	21,8±6,52	4,9±0,83
4593	Лакнея	82,9±8,42	дет.	3,0±0,71/3	18,1±2,80	4,3±0,72
Сорта Украины						
4567	Анисия	129,7±12,02	индет.	5,7±0,67/5	15,8±4,52	3,7±0,84
4574	Надежда	95,3±9,59	дет.	2,7±0,56/3	17,2±5,8	4,1±0,30
4580	Ажурная	87,3±8,76	дет.	3,6±0,64/3	19,8±7,92	4,9±0,09
4585	Оранта	145,5±14,78	индет.	6,7±1,35/7	18,0±7,28	4,3±0,77
4586	Киевский синтетик	94,0±15,95	индет.	4,4±0,49/4	11,0±2,28	4,4±0,72
4594	Лилея	120,5±12,22	индет.	6,4±1,77/5	24,5±9,25	3,3±0,63
Сорта России						
4398	Баллада, St.	102,3±8,41	индет.	6,2±0,98/6	15,7±4,42	4,8±0,20
4523	Дикуль, St.	80,9±10,95	дет.	3,6±0,92/3	19,6±5,90	4,8±0,10

Примечание: \bar{x} – среднее арифметическое; s – стандартное отклонение; Mo – модальное значение; St. – сорт-стандарт;

* дет. – детерминантный тип роста стебля; ** индет. – индетерминантный тип роста стебля

Note: \bar{x} – mean; s – standard deviation; Mo – modal value; St. – reference cultivar;

* дет. – determinant type of stem growth; ** индет. – indeterinant type of stem growth

Таблица 4. Характеристика сортов по развитию зоны ветвления стебля и зон ветвления двух верхних ветвей (Пушкин, 2017–2019 гг.)

Table 4. Description of buckwheat cultivars according to the development of the stem branching zone and the branching zones of the two upper branches (Pushkin, 2017–2019)

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Сорт / Cultivar	Число вегетативных узлов, шт. / Number of vegetative nodes, pcs					
		стебель / stem		первая ветвь сверху / first branch from the top		вторая ветвь сверху / second branch from the top	
		\bar{x}, s	Mo	\bar{x}, s	Mo	\bar{x}, s	Mo
Сорта Беларуси							
4572	Влада	4,9 ± 0,75	5	1,3 ± 0,56	1	1,9 ± 0,48	2
4573	Кармен	5,0 ± 0,76	5	1,7 ± 0,45	2	2,1 ± 0,35	2
4576	Феникс	5,3 ± 0,78	5	1,5 ± 0,71	2	1,9 ± 0,60	2
4577	Сапфир	4,4 ± 0,63	4	1,4 ± 0,63	1	1,9 ± 0,36	2
4578	Лена (4п)	4,7 ± 0,57	5	2,3 ± 0,70	2	2,0 ± 0,45	2
4579	Дуэт	4,3 ± 0,78	4	1,5 ± 0,5	1	1,9 ± 0,54	2
4581	Смуглянка	4,4 ± 0,98	5	1,0 ± 0,74	1	1,8 ± 0,39	2
4587	Ареса	4,7 ± 0,82	4	1,8 ± 0,63	2	1,9 ± 0,57	2
4588	Аметист	5,2 ± 0,75	5	2,2 ± 0,42	2	2,4 ± 0,50	2
4589	Анка	4,0 ± 0,71	4	0,9 ± 0,56	1	2,0 ± 0,33	2
4593	Лакнея	5,0 ± 0,71	5	0,8 ± 0,43	1	1,9 ± 0,77	2
Сорта Украины							
4567	Анисия	4,3 ± 0,67	5	1,8 ± 0,42	2	2,2 ± 0,42	2
4574	Надежда	5,1 ± 0,74	5	1,6 ± 0,49	2	1,8 ± 0,51	2
4580	Ажурная	4,1 ± 1,44	4	1,3 ± 0,62	1	1,8 ± 0,69	2
4585	Оранта	5,3 ± 0,90	5	1,8 ± 0,60	2	2,1 ± 0,30	2
4586	Киевский синтетик	4,2 ± 0,75	4	1,6 ± 0,49	2	1,9 ± 0,30	2
4594	Лиляя	5,6 ± 0,78	6	1,4 ± 0,49	1	2,2 ± 0,37	2
Сорта России							
4398	Баллада, St.	5,3 ± 0,63	5	2,0 ± 0,42	2	2,0 ± 0,42	2
4523	Дикуль, St.	3,9 ± 0,83	4	1,7 ± 0,90	1	2,0 ± 0,63	2

Примечание: St. – сорт-стандарт

Note: St. – reference cultivar

Все изученные сорта в условиях Ленинградской области формировали нормальный габитус растений. Среди 100 растений каждого сорта форм с сильно укороченными междоузлиями и утолщенными побегами и узлами не выявили, следовательно условия выращивания были адекватны сортовым требованиям по длине дня. Подтверждением этому служат значения завязываемости плодов (степень озерненности соцветий). Средний балл по пятибалльной шкале составлял 3,3–4,9 в зависимости от сорта (см. табл. 3).

По типу роста стебля все изученные районированные сорта подтвердили свои характеристики и высокую сортовую чистоту по этому признаку. Образцы, поступившие в коллекцию без соответствующей информации, оказались индетерминантными, за исключением сортов 'Ажурная' и 'Надежда' (Украина). Таким образом, детерминантным типом роста стебля характеризуются сорта: 'Влада' (к-4572), 'Кармен' (к-4573), 'Феникс' (к-4576), 'Сапфир' (к-4577), 'Лена' (к-4578), 'Смуглянка' (к-4581), 'Лакнея' (к-4593), 'Дикуль' (к-4523), 'Ажурная' (к-4580), 'Надежда' (к-4574). Индетерминантный тип роста стебля присущ сортам: 'Дуэт' (к-4579), 'Ареса' (к-4587), 'Аметист' (к-4588), 'Анка' (к-4589), 'Анисия' (к-4567), 'Оранта' (к-4585), 'Киевский синтетик' (к-4586), 'Лилея' (к-4594), 'Баллада' (к-4398).

Высота растений, вносящая основной вклад в степень устойчивости сортов гречихи к полеганию, у изученных сортов находилась в пределах 72–145 см, и внутрисортные различия были небольшими ($V \leq 10\%$).

По числу соцветий на растении сорта различались сильнее (11–31 шт.) при большом размахе значений признака внутри сорта ($V = 25\text{--}40\%$).

Стебель гречихи, как и ветви всех порядков, имеет две четко выраженные зоны – ветвления (вегетативная) и плодообразования (генеративная). Число генеративных узлов на стебле (для данных сортов равно числу соцветий) составляло 2,7–6,7 при стандартном отклонении в пределах 0,30–1,77. Вычисленные модальные значения (M_0) для 17 сортов подкорректировали средневзвешенное в большую или меньшую сторону незначительно, но для двух сортов ('Анка' и 'Лилея') – значительно и весьма непредсказуемо.

Согласно характеристикам изучавшихся районированных сортов, все они относятся к группе среднеспелых (см. табл. 1). Опытным путем селекционеры ВНИИЗБК установили, что растения скороспелых сортов гречихи имеют в зоне ветвления стебля 2–4 узла, среднеспелых – 4–5 узлов, позднеспелых – 5–6 и более узлов (Fesenko et al., 2006). Принимая за основу эту градацию, можно заключить, что 18 из 19 образцов гречихи характеризуются среднеспелостью в условиях Ленинградской области по данным трех лет изучения (см. табл. 4). На двух верхних ветвях сформировалось 0,8–2,3 вегетативных узла, модальные значения (M_0) – 1–2.

Обсуждение результатов

Признак «высота растений» в наибольшей степени подвержен влиянию агротехнических приемов и почвенного питания (Stoletova, 1958; Krotov, 1975). Место выращивания также может сильно изменять высоту растения из-за фотопериодической чувствительности, «следы» которой наблюдаются даже у популяций из Северо-Западного и Северного регионов РФ (Romanova et al., 2019). За три года изучения высота растений менее 100 см отмечена для 10 из 19 сортов: 'Феникс', 'Сапфир', 'Лена',

'Дуэт', 'Смуглянка', 'Лакнея' (Беларусь); 'Надежда', 'Ажурная' и 'Киевский синтетик' (Украина); 'Баллада' и 'Дикуль' (Российская Федерация). Украинские сорта 'Оранта', 'Лилея' и 'Анисия' в условиях Ленинградской области оказались высокорослыми (120–146 см). У нас нет информации от оригинаторов о характеристиках высоты растений, но, ориентируясь на сведения о сортах 'Влада', 'Сапфир', 'Феникс' (80–100 см) и 'Лилея' (75–90 см), относим все изученные сорта Беларуси к группе среднестебельных с очень слабой фотопериодической чувствительностью; сорта 'Оранта', 'Лилея' и 'Анисия' (Украина) – к группе среднестебельных, предполагая слабую или среднюю фотопериодическую чувствительность к длинному дню.

Признак «число соцветий на растении» как характеристика потенциала зерновой продуктивности сорта может рассматриваться при изучении образцов коллекции, но как вспомогательный. В его развитие вносит вклад, кроме наиболее постоянного признака «число соцветий на стебле», и признак «число соцветий на ветвях», наиболее переменный из-за непостоянства проявления побегов второго, третьего, редко четвертого порядков с развитой зоной плодообразования. Кроме того, даже число развитых ветвей первого порядка не всегда соответствует числу узлов в зоне ветвления стебля. Нижние ветви могут частично не развиться или развиться по две на узел. Достаточно сильные внутрисортные различия делают признак «число соцветий на растении» сложным для характеристики сорта. Модальное значение к нему неприменимо.

Признак «число вегетативных узлов на стебле», вычлененный Н. В. Фесенко из комплексного признака «число узлов на стебле», изучен в селекционном процессе и нами (совместно с селекционерами) в серии опытов. Показано, что все сорта гречихи по величине зоны ветвления стебля являются популяциями из нескольких морфотипов, которые не выровнены как по числу узлов, так и ритму их развития (ЗВС-морфотипы). Основой сорта являются 2, реже 3 ЗВС-морфотипа, составляющие адаптивное ядро популяции. Кроме того, присутствует незначительное число морфотипов, занимающих крайние места в общем ЗВС-ряду и выполняющих страховую функцию. Соотношение между числом растений различных морфотипов в популяции варьирует по годам, но ее структура по этому признаку точно характеризует ее скороспелость (Fesenko et al., 2010, 2016, 2017). В нашем случае именно высокие значения стандартного отклонения по числу вегетативных узлов и отражают сложную структуру сортовой популяции. Модальные значения признаков, характеризующих вегетативную и генеративную зоны (являющиеся показателями потенциала скороспелости и продуктивности), представлены в таблице 5.

Мода всех изучавшихся сортов по числу вегетативных узлов составляла 4–5, что является показателем среднеспелости. Исключением явился украинский сорт 'Лилея' – 6 узлов. Выше (при рассмотрении признака «высота растения») уже было высказано предположение о том, что этот сорт чувствителен к длинному дню. Таким образом, можно использовать признак «число вегетативных узлов на стебле» для описания их группы спелости «...оценка образцов (популяций) по числу узлов в зоне ветвления стебля позволяет достаточно точно характеризовать продолжительность их вегетации независимо от места проведения исследований» (Fesenko et al., 2017, p. 51).

Таблица 5. Карта «хозяйственной годности» сортов на основе метамерии стебля и двух верхних ветвей
Table 5. “Agricultural fitness” passport of buckwheat cultivars based on the metamerism of the stem and the two upper branches

Идентификатор Генбанка России / ID of the Genbank of Russia	Сорт, оригинатор / Cultivar, originator	“Тип спелости”* (зона ветвления растения) / “Type of ripeness” (plant branching zone)	“Базовая продуктивность”** (зона плодобразования растения) / “Basic productivity” (plant fruiting zone)	Потенциал завязываемости плодов, средний балл (от 1 до 5) / Fruit setting potential, mean score (from 1 to 5)	Тип роста стебля / The type of stem growth
VIR-4572	Влада ВУ	5+1+2+**	3+3+3+	4,9	дет.***
VIR-4573	Кармен ВУ	5+2+2+	6+3+3+	3,3	дет.
VIR-4576	Феникс ВУ	5+2+2+	3+2+2+	3,6	дет.
VIR-4577	Сапфир ВУ	4+1+2+	3+2+2+	4,7	дет.
VIR-4578	Лена (4n) ВУ	5+2+2+	3+3+2+	4,5	дет.
VIR-4579	Дуэт ВУ	4+1+2+	3+2+2+	4,4	индет.****
VIR-4581	Смуглянка ВУ	5+1+2+	3+2+2+	4,8	дет.
VIR-4587	Ареса ВУ	4+2+2+	4+2+3+	4,5	индет.
VIR-4588	Аметист ВУ	5+2+2+	8+6+4+	4,0	индет.
VIR-4589	Анка ВУ	4+1+2+	5+3+3+	4,9	индет.
VIR-4593	Лакнея ВУ	5+1+2+	3+2+2+	4,3	дет.
VIR-4567	Анисия UA	5+2+2+	5+3+3+	3,7	индет.
VIR-4574	Надежда UA	5+2+2+	3+2+3+	4,1	дет.
VIR-4580	Ажурная UA	4+1+2+	3+3+3+	4,9	дет.
VIR-4585	Оранта UA	5+2+2+	7+4+3+	4,3	индет.
VIR-4586	Киевский синтетик UA	4+2+2+	4+2+2+	4,4	индет.
VIR-4594	Лиляя UA	6+1+2+	5+3+4+	3,3	индет.
VIR-4398	Баллада RUS	5+2+2+	6+2+2+	4,8	индет.
VIR-4523	Дикуль RUS	4+1+2+	3+3+2+	4,8	дет.

* название условное; ** продолжение; *** дет. – детерминантный тип роста стебля; **** индет. – индетерминантный тип роста стебля

* the name is conditional; ** more; *** дет. – determinant type of stem growth; **** индет. – indeterminate type of stem growth

В последнее время стала утверждаться тенденция более широкого рассмотрения архитектоники вегетативной сферы гречихи, с учетом всех ветвей первого порядка (Fesenko et al., 2018). Считаем, что это, несомненно, логично и необходимо для изучения процессов, происходящих при изменении структуры растения в результате селекции. И мы проводим изучение сортов и местных популяций, рассматривая вегетативную и генеративную зоны всех ветвей на растении. Однако в данном случае, при проведении «регистрации» образцов коллекции по морфологическим признакам, такая подача материала затруднила бы его восприятие и потребовала введения дополнительных таблиц.

Заключение

По результатам изучения современных селекционных сортов гречихи трех основных стран СНГ, занимающихся селекцией и производством гречихи, подтверждается возможность выращивания гречихи на 59°43' северной широты в Ленинградской области. Условия по длине дня были адекватны сортовому требованию представленных среднеспелых сортов, в первую очередь – селекции учреждений Беларуси. Результаты изучения сортов по признакам метамерии стебля и двух верхних ветвей, выраженные модальными значениями, занесены в карту «хозяйственной годности» сортов следующей записью: VIR-4523; 'Дикуль' RUS; ЗВ/4+1+2; ЗП/3+3+3; ПЗС/4,8; дет, где

VIR-4523 – запись свидетельствует о том, что образец является частью базовой коллекции ВИР (генбанка Российской Федерации);

'Дикуль' RUS – сорт Дикуль, селекции учреждения Российской Федерации;

далее следуют метамерийная характеристика зоны ветвления стебля и двух верхних ветвей (ЗВ) – тип спелости, характеристика зоны плодообразования стебля и двух верхних ветвей (ЗП) – базовая продуктивность; потенциал завязываемости плодов (средний балл), с пометкой в «северной границе выращивания»;

дет (детерминантный) – характеристика типа роста стебля.

Представленная форма данных наиболее полно характеризует сорт по потенциалу скороспелости и продуктивности. В зависимости от задачи можно использовать показатели для главного стебля или двух верхних ветвей. Запись значений в виде формулы удобна и не несет иных смысловых нагрузок.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0006 "Search for and viability maintenance, 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".

References / Литература

- Descriptors for Buckwheat (*Fagopyrum* spp.). Rome: IPGRI; 1994.
- Fesenko A.N., Fesenko N.N., Romanova O.I. Morphogenetic method in common buckwheat breeding (*Fagopyrum esculentum* Moench). St. Petersburg: VIR; 2017. [in Russian] (Фесенко А.Н., Фесенко Н.Н., Романова О.И. Морфогенетический метод селекции гречихи (*Fagopyrum esculentum* Moench. Санкт-Петербург: ВИР; 2017).
- Fesenko A.N., Fesenko N.N., Romanova O.I., Fesenko I.N. Crop evolution of buckwheat in Eastern Europe: microevolutionary trends in the secondary center of buckwheat genetic diversity. In: M. Zhou, I. Kreft, S.H. Woo, N. Chrungoo, G. Wieslander (eds). *Molecular Breeding and Nutritional Aspects of Buckwheat*. Amsterdam: Elsevier; 2016. p.25-16. DOI:10.1016/B978-0-12-803692-1.00008-0
- Fesenko A.N., Fesenko N.N., Romanova O.I., Fesenko I.N. Main morphological types of cultivated buckwheat populations in Russia. In: M. Zhou, I. Kreft, G. Suvorova, Y. Tang, S.H. Woo (eds). *Buckwheat Germplasm in the World*. Cambridge: Elsevier; 2018. p.225-234. DOI: 10.1016/B978-0-12-811006-5.00023-9
- Fesenko N.N., Romanova O.I., Martynenko G.E., Funatzuki H. Environmental variation of architectonics of Russian and Japanese buckwheat varieties. *Agrar-naya Rossiya = Agrarian Russia*. 2002;(1):68-72. [in Russian]. (Фесенко Н.Н., Романова О.И., Мартыненко Г.Е., Фунатзуки Х. Экологическая изменчивость архитектоники российский и японских сортов гречихи. *Аграрная Россия*. 2002;(1):68-72).
- Fesenko N.V. Breeding and seed production of buckwheat (Selektsiya i semenovodstvo grechikhi). Moscow: Kolos; 1983. [in Russian] (Фесенко Н.В. Селекция и семеноводство гречихи. Москва: Колос; 1983).
- Fesenko N.V., Fesenko A.N., Romanova O.I. Morphological structure of populations as the main element of the functional system of environmental adaptation of common buckwheat *Fagopyrum esculentum* Moench (Morfologicheskaya struktura populyatsiy kak osnovnoy element funktsionalnoy sistemy ekologicheskoy adaptatsii grechikhi obyknovnoy *Fagopyrum esculentum* Moench) *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Orel State Agrarian University*. 2010;(4):47-52. [in Russian] (Фесенко Н.В., Фесенко А.Н., Романова О.И. Морфологическая структура популяций как основной элемент функциональной системы экологической адаптации гречихи обыкновенной *Fagopyrum esculentum* Moench. *Вестник Орловского ГАУ*. 2010;(4):47-52).
- Fesenko N.V., Fesenko N.N., Romanova O.I., Alexeeva E.S., Suvorova G.N. Buckwheat (Grechikha). In: V.A. Dragavtsev (ed.). *The theoretical basis of plant breeding (Teoreticheskiye osnovy selektsii rasteniy)*. Vol. 5. St. Petersburg: VIR; 2006. [in Russian] (Фесенко Н.В., Фесенко Н.Н., Романова О.И., Алексеева Е.С., Суворова Г.Н. Гречиха. В кн.: *Теоретические основы селекции растений. Гречиха. Т. 5* / под ред. В.А. Драгавцева. Санкт-Петербург: ВИР; 2006).
- Ikeda K., Ikeda S. Factors important for structural properties and quality of buckwheat products. In: M. Zhou, I. Kreft, S.H. Woo, N. Chrungoo, G. Wieslander (eds). *Molecular Breeding and Nutritional Aspects of Buckwheat*. Amsterdam: Elsevier; 2016. p.193-202. DOI: 10.1016/B978-0-12-803692-1.00015-8

- Krotov A.S. Buckwheat – *Fagopyrum* Mill. (Grechikha) In: P.M. Zhukovsky (ed.). *Flora of Cultivated Plants. Vol. 3. Groat Crops*. Leningrad; 1975. p.7-118. [in Russian] (Кротов А. С. Гречиха – *Fagopyrum* Mill. В кн.: *Культурная флора СССР. Крупяные культуры Т. 3.* / под ред. П.М. Жуковского. Ленинград; 1975. С.7-118).
- Rokitsky P.F. Biological statistics (Biologicheskaya statistika). 3rd ed. Minsk; 1973. [in Russian] (Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика. 3-е изд. Минск; 1973).
- Romanova O.I., Fesenko A.N., Fesenko N.N., Fesenko I.N. Intraspecific variability in photoperiodic sensitivity as a factor in the expansion of *Fagopyrum esculentum* Moench. *Legumes and Groat Crops*. 2019;4(32):13-19. [in Russian] (Романова О.И., Фесенко А.Н., Фесенко Н.Н., Фесенко И.Н. Внутривидовая изменчивость по фотопериодической чувствительности как фактор расширения ареала *Fagopyrum esculentum* Moench. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2019;4(32):13-19). DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11125
- Shmaraev G.E. (ed.). Guidelines for studying collection accessions of maize, sorghum and groat crops (millet, buckwheat, and rice) (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu kollektzionnykh obraztsov kukuruzy, sorgo i krupyanykh kultur [proso, grechikha, ris]). Leningrad: VIR; 1968. [in Russian] (Методические указания по изучению коллекционных образцов кукурузы, сорго и крупяных культур (просо, гречиха, рис) / под ред. Г.Е. Шмараева. Ленинград: ВИР; 1968).
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 “Plant varieties” (official publication). Moscow; Rosinformagrotekh; 2020. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2020). URL: https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2020/03/FIN_reestr_dop_12_03_2020.pdf [дата обращения: 03.11.2020].
- State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine in 2020. Kyev; 2020. [in Ukrainian] (Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2020 рік. Київ; 2020). URL: <http://sops.gov.ua/reestr-sortiv-roslin> [дата обращения: 03.11.2020].
- State Register of Varieties (Gosudarstvennyy reestr sortov). Minsk; 2020. [in Russian] (Государственный реестр сортов. Минск; 2020). URL: http://sorttest.by/gosudarstvennyy_reyestr_2020.pdf [дата обращения: 03.11.2020].
- Stoletova E.A. Buckwheat (Grechikha). Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1958. [in Russian] (Столетова Е.А. Гречиха. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1958).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The author declares the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Романова О.И. Характеристика сортов гречихи Беларуси и Украины в условиях Ленинградской области. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):61-70. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-61-70

Romanova O.I. Description of buckwheat cultivars from Belarus and Ukraine in the environments of Leningrad Province. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(3):61-70. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-61-70

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-61-70>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Автор одобрил рукопись / The author approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Romanova O.I. <https://orcid.org/0000-0002-3509-4655>

Репродуктивная способность сортов черной смородины после криоконсервирования пыльцы в жидком азоте

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-71-78

УДК 634.723.1:631.527.82:57.086.13

Поступление/Received: 16.03.2021

Принято/Accepted: 19.08.2021



Reproductive ability of black currant cultivars after pollen cryopreservation in liquid nitrogen

О. А. ТИХОНОВА^{1*}, Е. А. РАДЧЕНКО², А. В. ПАВЛОВ¹O. A. TIKHONOVA^{1*}, E. A. RADCHENKO², A. V. PAVLOV¹

¹ Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
* ✉ o.tikhonova@vir.nw.ru

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
* ✉ o.tikhonova@vir.nw.ru

² Кубанский государственный аграрный университет,
350044 Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

² Kuban State Agrarian University,
13 Kalinina St., Krasnodar 350044, Russia

Актуальность. Исследование репродуктивной способности сортов черной смородины после длительного криоконсервирования пыльцы в жидком азоте имеет большое значение для организации сохранения разнообразия этой культуры.

Материалы и методы. Объектами исследования служили пять сортов черной смородины. Изучение жизнеспособности пыльцы до и после ее криоконсервирования в жидком азоте проводили путем проращивания на питательной среде, содержащей 10% сахарозы и 0,8% агар-агара. Определение оплодотворяющей способности пыльцы осуществляли путем опыления сорта 'Андреевская' (к-15630А) пыльцой, хранившейся в течение года при сверхнизких температурах (-196°C), и свежесобранной пыльцой (контрольный вариант опыления).

Результаты и заключение. После 12 месяцев хранения пыльцы в условиях сверхнизких температур жизнеспособность в зависимости от образца колебалась от 10,4% ('Поздняя послевоенная', к-7652) до 50,4% ('Кривияи', к-42517); среднее ее значение было на 0,9% выше средней исходной жизнеспособности. Завязываемость ягод в контрольном варианте опыления составляла 81,3–94,2%. При опылении пыльцой, хранившейся в жидком азоте в течение года, завязываемость ягод варьировала от 69,2% ('Кача', к-44185) до 93,3% ('Белорусочка', к-41978); остальные сорта ('Поздняя послевоенная', к-42481, 'Черешнева', 'Кривияи') занимали по этому показателю промежуточное положение, то есть репродуктивная способность пыльцы после криоконсервации была высокой даже при низкой ее жизнеспособности. По массе ягоды у сортов 'Кача', 'Черешнева', 'Кривияи' не наблюдалось различий по обоим вариантам опыления; у сортов 'Белорусочка' и 'Поздняя Послевоенная' величина показателя была меньше контроля на 0,31 и 0,24 г соответственно.

Ключевые слова: *Ribes* L., жизнеспособность, опыление, длительное хранение, завязываемость ягод, масса ягоды.

Background. Studying the reproductive ability of black currant cultivars after long-term cryopreservation of their pollen in liquid nitrogen is very important for plant diversity conservation and for the effectiveness of breeding efforts.

Materials and methods. Five black currant cultivars served as the material for the research. The viability of black currant pollen after cryopreservation in liquid nitrogen was analyzed. Pollen viability was tested on an artificial medium containing 10% of sucrose and 0.8% of agar. The viability of pollen was tested on the black currant collection at Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR. The cultivar 'Andreevskaya' (k-15630) was pollinated with pollen stored for one year in liquid nitrogen (-196°C) as well as with fresh pollen (control test).

Results and conclusion. After 12 months of conservation under ultralow temperatures there was a change in the level of pollen viability depending on the genotype: it varied from 10.4% (cv. 'Pozdnyaya poslevoennaya', k-7654) to 50.4% (cv. 'Kriviai', k-42517), while its mean value was 0.9% higher than the mean initial viability. The fruit setting rate in the control option was 81.3–94.2%. When pollinated with pollen kept in liquid nitrogen for one year, the fruit setting rate varied from 69.2% ('Kacha', k-44185) to 93.3% ('Belorusochka', k-41978); the remaining cultivars ('Pozdnyaya poslevoennaya', 'Chereshneva', k-42481; and 'Kriviai') demonstrated intermediate values of this indicator, i.e., the reproductive ability of pollen after cryopreservation was high even despite its low viability. As for the fruit weight, no differences were shown by cvs. 'Kacha', 'Chereshneva' and 'Kriviai' in both pollination options, while this indicator in cvs. 'Belorusochka' and 'Pozdnyaya poslevoennaya' was lower than the control by 0.31 and 0.24 g, respectively.

Key words: *Ribes* L., pollen viability, pollination, long-term storage, fruit setting, fruit weight.

Введение

Сохранение генофонда является важным фактором обеспечения растительного разнообразия. Пыльца содержит всю информацию гаплоидного генома вида (Ren et al., 2019), при этом компактность и удобство хранения в силу экстремально малых ее размеров позволяет обеспечить сохранность большего количества генотипов по сравнению с другими формами растительных объектов (Kozaki et al., 1988). Это обуславливает ее значимость как материала для сохранения и обмена генетическими ресурсами растений. Кроме того, длительное хранение пыльцы позволяет эффективно преодолевать препятствия при скрещивании родительских форм, цветущих в разное время и в различных географических точках (Ren et al., 2019).

Используется несколько методов сохранения пыльцы, например: холодное хранение при температуре 3–5°C, сублимационная сушка, сублимационное хранение, вакуумная сушка, консервация органическими растворителями и криоконсервация (Вајај, 1987). Известно, что лучшие условия для сохранения пыльцы создаются при сочетании низких влажности и температуры воздуха, низкого содержания кислорода или вакуума. В комнатных условиях пыльца сохраняет жизнеспособность в течение недели, в сухих прохладных условиях – несколько недель или месяцев, в сухих холодных – до года (Kozaki et al., 1988).

Существуют значительные различия в консервирующем влиянии различных методов на жизнеспособность пыльцы, однако на большом количестве объектов показано, что наибольшую жизнеспособность при длительном хранении обеспечивает криоконсервирование пыльцы при сверхнизких температурах (Zhang et al., 1993). При таком способе хранения пыльца остается жизнеспособной в течение 10 и более лет (Kozaki et al., 1988).

Самое раннее сообщение о криоконсервации пыльцы было сделано Ноултоном (Knowlton, 1922), который обнаружил, что пыльца львиного зева (*Antirrhinum majus* L.) выдерживает температуру жидкого воздуха (–180°C); пыльца содержала от 10% до 12% воды и после инкубации при температуре жидкого воздуха сохранила 60% жизнеспособности.

В 80-х годах XX столетия работы в этом направлении получили дальнейшее успешное развитие. D. Parfitt и A. Almehti при определении жизнеспособности пыльцы миндаля, абрикоса, персика, сливы и вишни после погружения ее в жидкий азот установили, что пыльца указанных плодовых культур может быть заморожена при температуре –196°C на один час и разморожена при комнатной температуре без значительной потери жизнеспособности (Parfitt, Almehti, 1984b). Эти же авторы провели изучение жизнеспособности пыльцы 10 сортов маслины после погружения ее в жидкий азот. Проведенное исследование показало, что при хранении пыльцы в условиях сверхнизких температур потеря жизнеспособности в среднем по всем изученным сортам составила лишь 2,8%. Не было отмечено каких-либо особенностей по длине или морфологии пыльцевых трубок по обоим вариантам опыта. При этом наблюдались значительные различия по уровню жизнеспособности пыльцы между разными генотипами, тем не менее даже пыльца с наименьшей жизнеспособностью оставалась вполне пригодной для успешного опыления (Parfitt, Almehti, 1984a). Годом ранее, в 1983 г., этими же исследователями была изучена возможность хранения пыльцы 21 сорта вино-

града при сверхнизких температурах. Оказалось, что быстрое замораживание пыльцы и хранение ее в течение часа в жидком азоте (–196°C) не снижает ее жизнеспособности. Различия по количеству проросших пыльцевых зерен у замороженной и свежесобранной пыльцы составили менее 5%. Не было обнаружено отличий по внешнему виду пыльцевых зерен и динамике роста пыльцевых трубок по обоим вариантам опыта (Parfitt, Almehti, 1983).

Аналогичные исследования по хранению пыльцы пяти сортов винограда в жидком азоте (–196°C) были проведены S. Ganeshan в Институте плодоводства в Бангалоре (Индия) в 1985 г. Было установлено, что после 64 недель хранения при сверхнизких температурах (–196°C) наблюдалось увеличение жизнеспособности на 3,1–7,7% у всех сортов по сравнению с контролем (свежесобранной пыльцой) (Ganeshan, 1985).

Исследованиями M. Borghazan et al. (2011) при определении жизнеспособности пыльцы киви при разных способах хранения было показано, что температуры 4°C и –18°C больше подходят для краткосрочного хранения, а при –196°C пыльца киви может храниться в жизнеспособном состоянии не менее одного года.

При изучении хранения пыльцы финиковой пальмы исследователи пришли к выводу, что лучшим из всех исследованных ими вариантов хранения (25–30°C, 4°C, –20°C, –196°C) было хранение при температуре –196°C (Maryam et al., 2017).

В настоящее время в криобанках многих стран – Японии (Akihama, Omura, 1986), США (Connor, Towill, 1993), Канады (Mercier, 1995), России (Manzhulin, Yashina, 1984; Verzhuk et al., 2002), Китая (Ren et al., 2019) – хранится пыльца различных растений, однако в большинстве случаев, по мнению R. Ren (2019), исследования жизнеспособности пыльцы после криоконсервирования при сверхнизких температурах охватывают небольшой временной период хранения – от нескольких дней до нескольких месяцев.

Исследователи из Пекинского университета лесного хозяйства с целью дальнейшей проверки безопасности и стабильности длительного криоконсервирования пыльцы хранили в жидком азоте пыльцу 102 видов/сортов декоративных растений 32 родов, отнесенных к 14 семействам (Ren et al., 2019). Исследования показали, что после криоконсервирования при сверхнизких температурах (–196°C) в течение 8, 9 или 10 лет диапазон изменчивости жизнеспособности пыльцы составил 1–58%. При этом у 11,8% исследуемых образцов (12 видов/сортов) наблюдалось повышение жизнеспособности; 16,7% образцов (17 видов/сортов) сохраняли устойчивую жизнеспособность на уровне контроля, а 71,6% (73 вида/сорта) имели тенденцию к снижению жизнеспособности, однако при этом жизнеспособность ниже 1% имели лишь 21,6% из них.

В настоящее время криоконсервирование пыльцы охватывает широкий спектр видов, включая зерновые, плодовые, овощные, декоративные культуры, лекарственные растения, травы и другие растительные объекты (Ren et al., 2019); при этом исследования проводятся с учетом индивидуальных особенностей сохраняемых образцов.

В большинстве случаев жизнеспособность пыльцы, хранившейся в жидком азоте (LN), определялась в лабораторных условиях на искусственных питательных средах, поэтому, чтобы проверить, была ли криоконсервация успешной для этих видов или сортов и может ли она быть использована для долгосрочной программы крио-

консервирования, необходимо определить реальную оплодотворяющую способность криоконсервированной в жидком азоте пыльцы в полевых условиях.

В связи с этим *целью нашей работы* явилось изучение характера изменчивости жизнеспособности пыльцы в процессе криоконсервирования в жидком азоте при -196°C в течение 12 месяцев и выявление ее реальной оплодотворяющей способности путем проведения селекционных скрещиваний на растениях черной смородины (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР»).

Материалы и методы

Жизнеспособность пыльцы черной смородины до и после криоконсервирования в течение шести и 12 месяцев изучали в лаборатории длительного хранения генофонда растений (ЛДХГР) Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Объектами исследования служили пять сортов черной смородины из генофонда, сохраняемого на научно-производственной базе (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург, г. Павловск). Работа является продолжением исследований, проведенных в 2019–2020 гг. (Tikhonova et al., 2020).

Сбор пыльцы изучаемых сортов, определение жизнеспособности, способ замораживания в жидком азоте и размораживания проводили по методике, примененной в работе А. В. Павлова с соавторами (Pavlov et al., 2019). У каждого образца брали шесть независимых повторностей, у каждой повторности под микроскопом Motik100 M при 100-кратном увеличении фотографировали не менее пяти – восьми полей зрения; всего на один образец для анализа жизнеспособности пыльцы брали до 50 фотографий, на каждой подсчитывали число проросших и не проросших пыльцевых зерен, после чего определяли процент жизнеспособности пыльцы образца и ошибку среднего, то есть для статистической обработки данных по каждому образцу использовали ряд из 100 чисел. Значимость различий сравниваемых выборок оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента после проверки нормальности распределения. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$. Статистическую обработку результатов исследования выполняли с использованием пакета программ Microsoft Excel.

Изучение оплодотворяющей способности пыльцы проводили на коллекции черной смородины НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» путем проведения скрещиваний. В качестве опыляемого был использован перспективный сорт селекции ВИР 'Андреевская' (к-15630А). В фазе бутонизации было проведено удаление пыльников из нераспустившихся бутонов с последующим изолированием веток с кастрированными бутонами. Спустя 3-4 дня на рыльца пестиков распустившихся цветков была нанесена подготовленная свежесобранная пыльца (контрольный вариант опыления) и пыльца после 12 месяцев хранения в жидком азоте при -196°C . Всего было проведено 10 комбинаций скрещивания; по каждой из них было опылено не менее 50–60 цветков. При анализе полученных данных учитывали завязываемость ягод, массу ягоды и количество семян по каждому варианту опыления.

Результаты и обсуждение

В предыдущем исследовании было показано, что на формирование пыльцы большое влияние оказывают по-

годные условия; жизнеспособность пыльцы также определяется и сортовыми особенностями. Было установлено, что пониженная жизнеспособность связана с аномальным развитием мужских гаметофитов, следствием чего являются морфологические отклонения в строении спородермы, выраженные в разноразмерности пыльцевых зерен, утолщении экзины и формировании бородавчатых поверхностей мезопориума (Tikhonova et al., 2020).

Показано, что хранение пыльцы в жидком азоте способствует увеличению способности пыльцы к прорастанию. Так, после шести месяцев хранения в жидком азоте (-196°C) наблюдалось увеличение процента проросших пыльцевых зерен в среднем по всем сортам на 29,5% по сравнению с исходной жизнеспособностью; в зависимости от сорта наблюдалось повышение уровня жизнеспособности в 1,5–3,2 раза по сравнению с контролем (Tikhonova et al., 2020). Существенные статистически значимые различия ($p \leq 0,05$) по уровню жизнеспособности до и после экспозиции в жидком азоте были отмечены у четырех из пяти изученных сортов (табл. 1).

Мы предполагаем, что увеличение жизнеспособности пыльцы после криоконсервирования у большинства сортов может быть связано с ультраструктурными изменениями клеточного содержимого пыльцы и возможными изменениями интины, а не самой оболочки пыльцевого зерна (Tikhonova et al., 2020).

Дальнейшие исследования показали, что изменения уровня жизнеспособности в процессе криохранения имеют временный характер; стимулирующий эффект сверхнизких температур при более длительном хранении снижается.

После 12 месяцев хранения пыльцы в условиях сверхнизких температур жизнеспособность в зависимости от образца составила от 10,4% ('Поздняя послевоенная', к-7652) до 50,4% ('Kriviai', к-42517). По сравнению с данными, полученными после шести месяцев хранения в жидком азоте, произошло уменьшение уровня жизнеспособности пыльцы в среднем по всем изученным сортам на 28,6%; в зависимости от генотипа уменьшение показателя составило от 8,4% ('Поздняя послевоенная') до 48,0% ('Белорусочка', к-41978) (см. табл. 1).

Если провести сравнение данных, полученных после 12 месяцев хранения пыльцы в жидком азоте, с исходной жизнеспособностью, то мы можем убедиться, что среднее значение исходной жизнеспособности пыльцы на 0,9% ниже среднего уровня жизнеспособности после 12 месяцев криоконсервирования (см. табл. 1).

Однако в зависимости от индивидуальных особенностей сорта эти изменения имеют различный характер. Так, процент проросшей пыльцы после 12 месяцев экспозиции в жидком азоте (-196°C) у сортов 'Кача' (к-44185), 'Черешнева' (к 42481) и 'Kriviai' был выше по сравнению с исходным уровнем жизнеспособности на 10,3; 11,9 и 12,4% соответственно (см. табл. 1). У сортов 'Поздняя послевоенная' и 'Белорусочка' после года экспозиции в жидком азоте, напротив, наблюдалось уменьшение уровня жизнеспособности по сравнению с контролем на 13,9% и 16,1% соответственно. При этом статистически значимые различия по способности пыльцы к прорастанию между контрольными образцами и образцами после криохранения не были выявлены ни по одному сорту.

Для оценки оплодотворяющей способности пыльцы после хранения ее в жидком азоте (-196°C) в течение 12 месяцев летом 2020 г., во время цветения, были проведены селекционные скрещивания. В качестве опыляемого был использован перспективный сорт селекции ВИР

Таблица 1. Жизнеспособность пыльцы черной смородины после криоконсервирования в течение 6 и 12 месяцев, %

(лаборатория длительного хранения генофонда растений, 2019–2020 гг.)

Table 1. Viability of black currant pollen after cryopreservation for 6 and 12 months, %

(Laboratory for Long-Term Storage of Plant Genetic Resources, 2019–2020)

Сорт / Cultivar	Жизнеспособность пыльцы после различных сроков криоконсервирования в жидком азоте, % / Pollen viability after various periods of cryopreservation in liquid nitrogen, %		
	До помещения в жидкий азот (К) (исходная) / Before placement in liquid nitrogen (C) (initial)	После 6 месяцев хранения в жидком азоте / After 6 months of cryopreservation in liquid nitrogen	После 12 месяцев хранения в жидком азоте / After 12 months of cryopreservation in liquid nitrogen
Белорусочка	49,7 ± 2,3	81,6 ± 2,0 *	33,6 ± 1,8
Кача	39,2 ± 2,1	60,2 ± 3,1 *	49,5 ± 2,0
Поздняя послевоенная	24,3 ± 1,7	18,8 ± 2,5	10,4 ± 1,4
Черешнева	26,3 ± 2,2	84,9 ± 3,0 *	38,2 ± 3,1
Kriviai	38,0 ± 2,2	79,3 ± 2,9 *	50,4 ± 2,1
Среднее	35,5	65,0	36,4

* – статистически значимые отличия по сравнению с контролем при $p \leq 0,05$ * – statistically significant differences compared to the control at $p \leq 0.05$

‘Андреевская’. Опылителем служила пыльца 5 сортов, хранившаяся в жидком азоте в течение 12 месяцев (вариант I). В качестве контроля использовали опыление свежесобранной пыльцой (вариант II).

Анализ полученных данных показал, что завязываемость ягод при опылении пыльцой, хранившейся в жидком азоте в течение года, составила 69,2–93,3%; в контрольном варианте опыления в зависимости от сорта-опылителя она варьировала от 81,3 до 94,2% (табл. 2).

Наиболее результативной по количеству завязавшихся ягод (93,3%) при опылении пыльцой после криоконсервирования оказалась комбинация Андреевская × Белорусочка, в которой наблюдалось увеличение количества завязавшихся ягод по сравнению с контрольным вариантом опыления на 5,2%. Сравнительно небольшое увеличение показателя (на 1,7%) по сравнению с контролем отмечено и в комбинации Андреевская × Kriviai при опылении пыльцой после ее экспозиции в жидком азоте в течение года (рис. 1).

Высокие и сравнимые по значению величины завязываемости ягод наблюдались в обоих вариантах опыта и при использовании в качестве опылителя сорта ‘Поздняя послевоенная’, несмотря на довольно низкие значения ее исходной жизнеспособности и жизнеспособности после криоконсервирования (см. табл. 2).

Высокая завязываемость ягод по обоим вариантам опыта наблюдалась и при использовании в качестве опылителя сорта ‘Черешнева’ (см. табл. 2, рис. 2); количество завязавшихся ягод при опылении пыльцой после года ее хранения в жидком азоте было лишь на 1,3% ниже, чем при опылении свежесобранной пыльцой.

В комбинации скрещивания Андреевская × Кача завязываемость ягод при опылении пыльцой после криоконсервирования была на 12,1% ниже, чем при опылении свежесобранной пыльцой (вариант II); тем не менее количество завязавшихся ягод (69,2%) было достаточным,

чтобы прийти к заключению об успешном опылении и оплодотворении и в данном случае.

Масса ягоды при опылении пыльцой, хранившейся в жидком азоте, по всем комбинациям скрещивания составила в среднем 0,94 г (см. табл. 2). В зависимости от сорта-опылителя эта величина в варианте I опыта варьировала от 0,69 до 1,05 г, в то время как при опылении свежесобранной пыльцой (вариант II опыления) масса ягоды составила в среднем 1,03 г. В зависимости от сорта-опылителя она находилась в пределах 0,90–1,27 г. Различия по этому показателю в среднем по всем сортам, использованным в качестве опылителей, между обоими вариантами опыта составили 0,09 г.

В зависимости же от сорта между проведенными вариантами опыта наблюдались некоторые различия по величинам данного показателя. Незначительное увеличение средней массы ягоды (на 0,12 г) по сравнению с контролем наблюдалось при опылении пыльцой, хранившейся в жидком азоте, в комбинации скрещивания Андреевская × Черешнева (см. табл. 2, рис. 3, а).

В остальных комбинациях скрещивания величина данного показателя была больше при опылении свежесобранной пыльцой (К), причем если при использовании в качестве опылителя сортов ‘Kriviai’ (рис. 3, б) и ‘Кача’ (рис. 4, а) величины показателя по обоим вариантам опыта различались незначительно (на 0,02 и 0,03 г соответственно), то при опылении свежесобранной пыльцой (К) сортов ‘Поздняя послевоенная’ (рис. 4, б) и ‘Белорусочка’ превышение показателя в контрольном варианте опыления по сравнению с опылением пыльцой после криоконсервирования составило 0,24 и 0,31 г соответственно (см. табл. 2).

Величина семенной продуктивности (среднее число семян в ягоде) при опылении пыльцой после криоконсервирования составила в среднем по всем использованным в качестве опылителей сортам 26 семян на

Таблица 2. Оплодотворяющая способность пыльцы, масса ягоды и семенная продуктивность черной смородины

(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2020 г.)

Table 2. Fertilizing ability of pollen, fruit weight and seed productivity of black currant
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories, 2020)

Опыляемый сорт / Pollinated cultivar	Сорт-опылитель / Pollinator cultivar	Варианты опыления / Pollination options					
		пыльцой после криоконсервирования (I) / pollen after cryopreservation (I)			свежесобранной пыльцой (II) / fresh pollen (II)		
		Завязываемость ягод, % / Fruit setting rate, %	Средняя масса ягоды, г / Mean fruit weight, g	Среднее число семян, шт. / Mean number of seeds, pcs	Завязываемость ягод, % / Fruit setting rate, %	Средняя масса ягоды, г / Mean fruit weight, g	Среднее число семян, шт. / Mean number of seeds, pcs
Андреевская	Белорусочка	93,3 ± 3,3	0,96	28 ± 1,9*	88,1 ± 0,9	1,27	35 ± 2,1*
	Кача	69,2 ± 6,8*	0,99	32 ± 2,2*	81,3 ± 9,4*	1,02	20 ± 2,8*
	Поздняя послевоенная	85,3 ± 1,5	0,69	17 ± 1,9	85,0 ± 1,3	0,93	21 ± 2,1
	Черешнева	92,9 ± 2,4	1,02	23 ± 1,4	94,2 ± 2,5	0,90	27 ± 1,7
	Kriviai	85,7 ± 7,2	1,05	30 ± 1,9	84,0 ± 2,3	1,03	31 ± 2,0
Среднее		85,3	0,94	26,0	86,5	1,03	26,8

* - статистически значимые отличия при $p \leq 0,05$

* - statistically significant differences at $p \leq 0.05$



а)



б)

Рис. 1. Завязываемость ягод в комбинации скрещивания Андреевская × Kriviai:
а) опыление пыльцой после криоконсервирования; б) опыление свежесобранной пыльцой (К)
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2020 г.)

Fig. 1. Fruit setting in the crossing combination Andreevskaya × Kriviai:
а) pollination with pollen after cryopreservation; б) pollination with fresh pollen (control)
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2020)



а)



б)

Рис. 2. Завязываемость ягод в комбинации скрещивания Андреевская × Черешнева:
а) опыление пыльцой после криоконсервирования; б) опыление свежесобранной пыльцой (К)
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2020 г.)

Fig. 2. Fruit setting in the crossing combination Andreevskaya × Chereshneva: а) pollination with pollen after cryopreservation; б) pollination with fresh pollen (control)
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2020)



I.

II.

а) Андреевская × Черешнева
Andreevskaya × Chereshneva



I.

II.

б) Андреевская × Kriviai
Andreevskaya × Kriviai

Рис. 3. Величина ягоды при: I – опылении пыльцой после криоконсервирования;
II – опылении свежесобранной пыльцой
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2020 г.)

Fig. 3. Fruit size in the case of: I – pollination after cryopreservation;
II – pollination with fresh pollen
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2020)



а) Андреевская × Кача
Andreevskaya × Kacha

б) Андреевская × Поздняя послевоенная
Andreevskaya × Pozdnyaya poslevoennaya

Рис. 4. Величина ягоды при: I – опылении пыльцой после криоконсервирования;
II – опылении свежесобранной пыльцой
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2020 г.)

Fig. 4. Fruit size in the case of: I – pollination after cryopreservation;
II – pollination with fresh pollen
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2020)

1 ягоду; при опылении свежесобранной пыльцой – 27 (см. табл. 2).

В целом семенная продуктивность по всем комбинациям скрещивания, за исключением одной (Андреевская × Кача), была больше на 4–7 штук в контрольном варианте опыления. Достоверные различия между вариантами опыта наблюдались лишь у двух сортов – ‘Белорусочка’ и ‘Кача’ (см. табл. 2).

Заключение

После криоконсервирования пыльцы в жидком азоте в течение шести месяцев, как показали проведенные ранее исследования (Tikhonova et al., 2020), наблюдается достоверное увеличение ее жизнеспособности по сравнению с исходными значениями в среднем на 38% у четырех из пяти исследованных сортов.

После 12 месяцев хранения при сверхнизких температурах происходит снижение уровня жизнеспособности пыльцы по сравнению с шестью месяцами хранения, тем не менее по сравнению с исходной жизнеспособностью (К) отмечено увеличение данного показателя в среднем на 11,5% у трех исследованных сортов ‘Черешнева’ (к-42481), ‘Кача’ (к-44185), ‘Krivial’ (к-42517); у сортов ‘Белорусочка’ (к-41978) и ‘Поздняя послевоенная’ (к-7652) – уменьшение уровня жизнеспособности в среднем на 15%.

Данные, полученные при опылении сорта ‘Андреевская’ пыльцой, хранившейся в жидком азоте (–196°C) в течение 12 месяцев, свидетельствуют о том, что пыльца черной смородины не теряет своей высокой оплодотворяющей способности при длительном ее криоконсервировании (в течение года) при сверхнизких температурах. Уровень жизнеспособности пыльцы после длительного (в течение года) хранения при сверхнизких температурах (–196°C) оказался достаточным для нормального завязывания плодов даже у сортов с низкими значениями показателя, определенными в лабораторных условиях. Завязываемость ягод и средняя их масса высоки

и сопоставимы с контрольным вариантом опыления, а в ряде случаев превышают его. Уровень жизнеспособности пыльцы после длительного (в течение года) хранения при сверхнизких температурах (–196°C) является достаточным для нормального завязывания плодов.

Банк криоконсервирования пыльцы является надежным способом сохранения зародышевой плазмы, но при определении периода сохранения ее в жизнеспособном состоянии необходимо учитывать индивидуальные особенности генотипа; пыльца сортов, теряющих значительный процент жизнеспособности в процессе криохранения, должна регулярно обновляться в целях обеспечения безопасности и стабильности хранения.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2020-0004 «Коллекции вегетативно размножаемых культур (картофель, плодовые, ягодные, декоративные, виноград) и их диких родичей ВИР – изучение и рациональное использование».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2020-0004 “Collections of vegetatively propagated crops (potato, fruit, berry and ornamental crops, grapes) and their wild relatives at VIR: studying and sustainable utilization”.

References / Литература

- Akihama T., Omura M. Preservation of fruit tree pollen. In: Y.P.S. Bajaj (ed.). *Biotechnology in agriculture and forestry. Vol. 1. Trees*. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag; 1986. p.101–112.
- Bajaj Y.P.S. Cryopreservation of pollen and pollen embryos, and the establishment of pollen banks. *International Review of Cytology*. 1987;107:397–420. DOI: 10.1016/S0074-7696(08)61083-9

- Borghезan M., Clauman A.D., Steinmacher D.A., Guerra M.P., Orth A.I. *In vitro* viability and preservation of pollen grain of kiwi (*Actinidia chinensis* var. *deliciosa* (A. Chev.) A. Chev). *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 2011;11(4):338-344. DOI: 10.1590/S1984-70332011000400007
- Connor K.F., Towill L.E. Pollen-handling protocol and hydration/dehydration characteristics of pollen for application to long-term storage. *Euphytica*. 1993;68:77-84. DOI: 10.1007/BF00024157
- Ganeshan S. Cryogenic preservation of grape (*Vitis vinifera* L.) pollen. *Vitis*. 1985;24(3):169-173. DOI: 10.5073/vitis.1985.24.169-173
- Knowlton H.E. Studies in pollen with special reference to longevity. *Memoir – Cornell University Agricultural Experiment Station*. 1922;52:751-793.
- Kozaki H., Omura M., Matsuta N., Moriguchi T. Germplasm preservation of fruit trees. In: *Preservation of Plant Genetic Resources*. Tokyo: JICA; 1988. p.65-74.
- Manzhulin A.V., Yashina I.M. Preservation of potato pollen under ultralow temperatures (Khraneniye pyltzy kartofelya pri sverkhznizkikh temperaturakh). *Agricultural Biology*. 1984;(4):56-59. [in Russian]. (Манжулин А.В., Яшина И.М. Хранение пыльцы картофеля при сверхнизких температурах. *Сельскохозяйственная биология*. 1984;19(4):56-59).
- Maryam, Jaskani M.J., Naqvi S.A. Storage and viability assessment of date palm pollen. *Methods in Molecular Biology*. 2017;1638:3-13. DOI: 10.1007/978-1-4939-7159-6_1
- Mercier S. The role of a pollen bank in the Tree Genetic Improvement Program in Québec (Canada). *Grana*. 1995;34(6):367-370. DOI: 10.1080/00173139509429468
- Parfitt D.E., Almehti A.A. Cryogenic storage of grape pollen. *American Journal of Enology and Viticulture*. 1983;34(4):227-228.
- Parfitt D.E., Almehti A.A. Cryogenic storage of olive pollen. *Fruit Varieties Journal*. 1984a;38(1):14-16.
- Parfitt D.E., Almehti A.A. Liquid nitrogen storage of pollen from five cultivated *Prunus* species. *HortScience*. 1984b;19(1):69-70.
- Pavlov A.V., Verzhuk V.G., Orlova S.Yu., Radchenko O.E., Erastenkova 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. [in Russian] (Павлов А.В., Вержук В.Г., Орлова С.Ю., Радченко О.Е., Ерастенкова М.В., Додонова А.Ш. и др. Криоконсервирование как метод сохранения биоразнообразия плодово-ягодных культур и дикорастущих лекарственных растений. *Проблемы криобиологии и криомедицины*. 2019;29(1):44-57). DOI: 10.15407/cryo29.01.044
- Ren R., Li Z., Li B., Xu J., Jiang X., Liu Y. et al. Changes of pollen viability of ornamental plants after long-term preservation in a cryopreservation pollen bank. *Cryobiology*. 2019;89:14-20. DOI: 10.1016/j.cryobiol.2019.07.001
- Tikhonova O.A., Gavrilova O.A., Radchenko E.A., Verzhuk V.G., Pavlov A.V. Viability of black currant pollen before and after cryopreservation in liquid nitrogen, and its morphological features *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(3):110-119. [in Russian] (Тихонова О.А., Гаврилова О.А., Радченко Е.А., Вержук В.Г., Павлов А.В. Жизнеспособность пыльцы черной смородины до и после ее криоконсервирования в жидком азоте и особенности ее морфологии. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(3):110-119). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-110-119
- Verzhuk V., Safina G., Tikhonova N., Shubin N. Viability of fruit crop scions and apple pollen stored at low and ultralow temperatures (cryopreservation). *Agriculture*. 2002;78(2):283-288.
- Zhang L.X., Chang W.C., Wei Y.J., Liu L., Wang Y.P. Cryopreservation of ginseng pollen. *HortScience*. 1993;28(7):742-743. DOI: 10.21273/HORTSCI.28.7.742

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Тихонова О.А., Радченко Е.А., Павлов А.В. Репродуктивная способность сортов черной смородины после криоконсервирования пыльцы в жидком азоте. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(4):71-78. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-71-78

Tikhonova O.A., Radchenko E.A., Pavlov A.V. Reproductive ability of black currant cultivars after pollen cryopreservation in liquid nitrogen. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):71-78. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-71-78

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-71-78>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Tikhonova O.A. <https://orcid.org/0000-0002-0319-1477>

Radchenko E.A. <https://orcid.org/0000-0002-3015-4735>

Pavlov A.V. <https://orcid.org/0000-0003-4319-0353>

Стабильность агрономически ценных признаков у клонов межвидовых гибридов картофеля в условиях Центрального региона европейской территории России

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-79-89

УДК 633.491+551.583

Поступление/Received: 09.03.2021

Принято/Accepted: 10.08.2021

М. С. ХЛОПЮК¹, Н. А. ЧАЛАЯ², Е. В. РОГОЗИНА^{2*}

¹Тулский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Федерального исследовательского центра «Немчиновка», 301493 Россия, Тульская обл., Плавский район, пос. Молочные дворы, ул. Садовая, 7
✉ tniisx@mail.ru

²Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
* ✉ erogozina@vir.nw.ru

Stability of agronomic traits in interspecific hybrid potato clones in the Central Region of European Russia

M. S. KHLOPYUK¹, N. A. CHALAYA², E. V. ROGOZINA^{2*}

¹Tula Research Institute of Agriculture – branch of Nemchinovka Federal Research Center, 7 Sadovaya St., Molochnye Dvory, Plavsky District, Tula Province 301493, Russia
✉ tniisx@mail.ru

²N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia
* ✉ erogozina@vir.nw.ru

Актуальность. Стабильность урожая необходима для успешного возделывания картофеля в условиях изменяющегося климата. Селекция картофеля основана на гибридизации родительских линий, комплементарных по показателям продуктивности и структуры урожая, устойчивости к стрессорам. Информация об особенностях реакций на условия окружающей среды позволяет осуществить обоснованный подбор форм для скрещивания. Цель работы – охарактеризовать межвидовые гибриды картофеля, устойчивые к возбудителям болезней и вредителям, по продуктивности, пластичности и стабильности урожая в условиях Центрального региона Европейской России.

Материалы и методы. В течение семи лет (2014–2020) 19 гибридов и сорт ‘Фаворит’ (стандарт) оценены по продуктивности, числу клубней на растении, средней массе клубня и товарности, поражению фитофторозом. Условия вегетации характеризовали с использованием ГТК – гидротермического коэффициента. Экологическую устойчивость определяли, вычисляя по методике Н. П. Скляровой и В. А. Жаровой параметры пластичности (b_j) и стабильности (σ^2).

Результаты. В годы испытаний отмечены положительные и отрицательные аномалии по тепло- или влагообеспеченности. Максимальная продуктивность получена в 2016 г. при обильных осадках и повышенной температуре, минимальная – в жарком и засушливом 2018 г. Доля влияния на продуктивность фактора «сорт» составляет 29%, фактора «год» – 38%. Выделены гибриды с продуктивностью на уровне сорта ‘Фаворит’: 117-2, 122-29, 99-6-5, 99-1-3, 99-6-6, 34-5-2003; многоклубневые: 122-29, 34-5-2003. Сорт ‘Фаворит’ – интенсивного типа, с низкой стабильностью урожая. Гибрид 135-2-2006 – интенсивного типа со стабильным урожаем, но формирует некрупные клубни и по продуктивности уступает остальным образцам. Гибрид 117-2 – экстенсивный, среднестабильный, 8-3-2004, 135-5-2005 – экологически пластичные, с высокой стабильностью урожая.

Ключевые слова: продуктивность, пластичность и стабильность урожая, тепло- и влагообеспеченность, устойчивость к фитофторозу.

Background. Yield stability is a necessary trait for sustainable potato production under climate change. Potato breeding is based on crosses between parental lines selected for a set of important traits: productivity, structural yield components, and resistance to abiotic and biotic stresses. Data on plant responses to environmental conditions allows breeders to conduct informed selection of plant forms for crossing. The objective of this work was to characterize interspecific potato hybrids in terms of their productivity, yield plasticity and stability in the Central Region of European Russia.

Materials and methods. For seven years (2014–2020), 19 hybrids and cv. ‘Favorit’ (reference) were assessed for productivity, number of tubers per plant, mean tuber weight, marketability, and resistance to late blight. Growing conditions were characterized using the hydrothermal coefficient. Environmental sustainability was determined by calculating the parameters of plasticity (b_j) and stability (σ^2) according to N. P. Sklyarova and V. A. Zharova.

Results. Positive and negative anomalies in heat or moisture supply were observed during the test years. The maximum productivity was obtained in 2016, with heavy rainfall and higher temperatures; the minimum, in the hot and dry 2018. For productivity, the effect sizes of the factors “variety” and “year” were 29% and 38%, respectively. Hybrids with yield levels close to cv. ‘Favorit’ were identified: 117-2, 122-29, 99-6-5, 99-1-3, 99-6-6, and 34-5-2003. ‘Favorit’ is an intensive-type cultivar, with low yield stability. Hybrid 135-2-2006, also of the intensive type, had a stable yield, but developed medium-sized tubers and was less productive than other accessions. Hybrid 117-2 is of the extensive type, with medium stability, while hybrids 8-3-2004 and 135-5-2005 demonstrated high environmental plasticity and yield stability.

Key words: productivity, yield stability and plasticity, heat and moisture supply, late blight resistance.

Введение

В XXI веке мировое сельскохозяйственное производство испытывает серьезное влияние изменяющегося климата – усилилась нестабильность температурного режима и осадков, изменился характер распространения вредителей и патогенов. Изменения климата, нестабильность погодных факторов оказывают заметное влияние и на картофелеводческую отрасль, для успешного функционирования которой сегодня повсеместно востребованы сорта, устойчивые к абиотическим стрессорам (Devaux et al., 2020; Hijmans, 2003; Kaukoranta, Nakala, 2008). Изменения климата на территории Российской Федерации также оказывают существенное воздействие на отрасль картофелеводства. Наблюдаемая в последние десятилетия на европейской территории России тенденция потепления существенно повлияла на проявление хозяйственно ценных признаков картофеля, в том числе на продуктивность и содержание крахмала (Novikova et al., 2017). Для российского картофелеводства сегодня необходимы сорта, сочетающие продуктивность с устойчивостью к действию абиотических и биотических стрессоров. В этой связи весьма актуально создание эффективных родительских линий с комплексом желаемых хозяйственно ценных признаков на основе гибридизации селекционных сортов с межвидовыми гибридами картофеля (Simakov et al., 2017). Селекционеры в разных регионах проводят сравнительное изучение реакций сортов и перспективных гибридов на изменение условий среды (Pakul et al., 2019; Sintsova et al., 2018; Sklyarova, Zharova, 1998).

В коллекции картофеля Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) представлен генетически разнообразный материал, в том числе уникальные межвидовые гибриды картофеля, созданные на основе различных диких и культурных клубненосных видов рода *Solanum* L. Фитопатологическая оценка и молекулярно-генетический анализ с использованием ДНК-маркеров генов, контролирующих устойчивость картофеля к возбудителям болезней и вредителей, выполнен для 60 клонов межвидовых гибридов

(Rogozina et al., 2019, Rogozina et al., 2021). У межвидовых гибридов идентифицированы ДНК-маркеры генов, контролирующих устойчивость картофеля к фитофторозу *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary: *R1*, *R2/Rpi-blb3*, *R3a*, *R3b*, *RB/Rpi-blb1*, *Rpi-blb2* и *Rpi-vnt1.3*, генов *H1* и *Gro1.4*, контролирующих устойчивость к нематоду *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Skarbilovich, патотип Ro1, гена *Ry_{adg}* – иммунитет к вирусу картофеля Y (YBK), и гена *Sen1* – устойчивость к раку картофеля *Synchytrium endobioticum* (Schilbersky) Percival. Для использования межвидовых гибридов в селекции в качестве родительских линий необходима их характеристика по множеству показателей, среди которых продуктивность – один из важнейших признаков. Продуктивность картофеля – сложный полигенный признак, проявление которого является результатом реализации конкретного генотипа в определенных условиях среды (Slater et al., 2014). При возделывании в неблагоприятных и нестабильных условиях только пластичные, слабо реагирующие на изменения среды сорта обеспечат получение гарантированного урожая.

Цель данной работы – оценить продуктивность и экологическую пластичность клонов межвидовых гибридов картофеля из коллекции ВИР в условиях Центрального региона европейской части России.

Материал и методы

Исследовали 19 гибридных клонов, созданных на основе образцов коллекции генетических ресурсов растений ВИР и рекомендованных для селекции с использованием маркер-вспомогательного отбора. Клоны межвидовых гибридов устойчивы к фитофторозу, глободерозу, раку картофеля и вирусу картофеля Y, охарактеризованы на наличие ДНК-маркеров генов устойчивости (табл. 1). В исследование в качестве контроля включен сорт 'Фаворит' (селекции Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха), среднеспелый, предназначенный для столовых целей и переработки, допущенный к выращиванию в Центральном регионе европейской части России (State Register..., 2020).

Таблица 1. Происхождение и характеристика межвидовых гибридов картофеля

Table 1. Pedigree and description of interspecific potato hybrids

Номер гибрида	Происхождение	Устойчивость к возбудителям болезней и вредителям	Идентифицирован ДНК маркер/ген (Rogozina et al., 2018; Rogozina et al., 2021)
99-6-5	90-6-2 × Hertha	КУ/ER к YBK, У/Р к <i>G. rostochiensis</i>	TG689/ <i>H1</i> , 57R/ <i>H1</i> , N195/ <i>H1</i> , NL25/ <i>Sen1</i> , R2-1137/ <i>R2=Rpi-blb3</i> , R3b-378/ <i>R3b</i> , R8-1259/ <i>R8</i> , RB-226/ <i>Rpi-blb1=Rpi-sto1</i> , <i>Rpi-vnt1.3-612/Rpi-vnt1.3</i>
99-6-6	90-6-2 × Hertha	КУ/ER к YBK, У/Р к <i>G. rostochiensis</i>	TG689/ <i>H1</i> , 57R/ <i>H1</i> , N195/ <i>H1</i> , NL25/ <i>Sen1</i> , R1-1205/ <i>R1</i> , R2-1137/ <i>R2=Rpi-blb3</i> , R3a-1380/ <i>R3a</i> , R3b-378/ <i>R3b</i> , RB-226/ <i>Rpi-blb1=Rpi-sto1</i> , <i>Rpi-vnt1.3-612/Rpi-vnt1.3</i>
52-8	Загадка Питера × 99-6-6	У/Р к <i>S. endobioticum</i> , ПУ/FR к YBK, УУ/MR к колорадскому жуку	Не определены
138-3-2006	Загадка Питера × 97-155-1	СЧ/HS к YBK, У/Р к <i>S. endobioticum</i>	NL25/ <i>Sen1</i>

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

Номер гибрида	Происхождение	Устойчивость к возбудителям болезней и вредителям	Идентифицирован ДНК маркер/ген (Rogozina et al., 2018; Rogozina et al., 2021)
99-1-3	93-5-22 × Hertha	У/Р к YBK, У/Р к <i>S. endobioticum</i>	NL25/ <i>Sen1</i>
99-4-1	180-1 × Hertha	УУ/MR к фитофторозу	R1-1205/ <i>R1</i> , R3b-378/ <i>R3b</i>
88-2	180-1 × Hertha	У/Р к YBK, У/Р к <i>G. rostochiensis</i> , У/Р к <i>S. endobioticum</i>	Не определены
117-2	Atzimba × <i>S. alandiae</i> к-21240	У/Р к <i>G. rostochiensis</i> , УУ/MR к фитофторозу	57R/ <i>H1</i> , N195/ <i>H1</i> , R2-1137/ <i>R2=Rpi-blb3</i> , R3b-378/ <i>R3b</i> , R8-1259/ <i>R8</i> , Rpi-vnt1.3-612/ <i>Rpi-vnt1.3</i> , Rpi-blb2-976/ <i>Rpi-blb2</i>
135-1-2006	Свитанок Киевский × 24-2	У/Р к <i>S. endobioticum</i> , УУ/MR к фитофторозу	R2-1137, R2-686, Rpi-blb3-305/ <i>R2=Rpi-blb3</i> , R3a-1380/ <i>R3a</i> , R3b-378/ <i>R3b</i> , Rpi-vnt1.3-612/ <i>Rpi-vnt1.3</i>
135-2-2006	Свитанок Киевский × 24-2	У/Р к <i>G. rostochiensis</i> , У/Р к <i>S. endobioticum</i> , УВ/MS к фитофторозу	57R/ <i>H1</i> , N195/ <i>H1</i> , NL25/ <i>Sen1</i> , R1-1205/ <i>R1</i> , R2-1137/ <i>R2=Rpi-blb3</i> , R3a-1380/ <i>R3a</i> , R3b-378/ <i>R3b</i> , RB-226/ <i>Rpi-blb1=Rpi-sto1</i>
134-6-2006	24-2 × Свитанок Киевский	У/Р к <i>G. rostochiensis</i> , УУ/MR к фитофторозу	TG689/ <i>H1</i> , 57R/ <i>H1</i> , N195/ <i>H1</i> , R3a-1380/ <i>R3a</i> , R3b-378/ <i>R3b</i> , R8-1259/ <i>R8</i> , Rpi-vnt1.3-612/ <i>Rpi-vnt1.3</i>
25-2-2007	Елизавета × 24-1	СЧ/HS к YBK, УВ/MS к фитофторозу	R1-1205/ <i>R1</i> , R3b-378/ <i>R3b</i> , R8-1259/ <i>R8</i> , Rpi-vnt1.3-612/ <i>Rpi-vnt1.3</i> , Rpi-blb2-976/ <i>Rpi-blb2</i>
122-29	88-59-2 × 90-21-1	ПУ/FR к YBK	Не определены
34-5-2003	97-162-2 × 190-4	СЧ/HS к YBK, УУ/MR к фитофторозу	R8-1259/ <i>R8</i> , Rpi-blb2-976/ <i>Rpi-blb2</i>
167-1-2008	159-31 × Латона	У/Р к <i>S. endobioticum</i> , УУ/MR к колорадскому жуку	TG689/ <i>H1</i> , NL25/ <i>Sen1</i>
135-3-2005	<i>S. okadae</i> к-20921 × <i>S. chacoense</i> к-19759	У/Р к YBK, У/Р к <i>G. rostochiensis</i> , У/Р к <i>S. endobioticum</i> , УВ/MS к фитофторозу	57R/ <i>H1</i> , N195/ <i>H1</i> , RYSC3-320/ <i>Ryadg</i> , R2- 1137, R2-686, Rpi-blb3-305/ <i>R2=Rpi-blb3</i> , R8-1259/ <i>R8</i> , Rpi-blb2-976/ <i>Rpi-blb2</i>
135-5-2005	<i>S. okadae</i> к-20921 × <i>S. chacoense</i> к-19759	У/Р к YBK, У/Р к <i>G. rostochiensis</i> , У/Р к <i>S. endobioticum</i> , УВ/MS к фитофторозу	57R/ <i>H1</i> , N195/ <i>H1</i> , RYSC3-320/ <i>Ryadg</i> , R8-1259/ <i>R8</i> , Rpi-blb2-976/ <i>Rpi-blb2</i>
8-3-2004	<i>S. okadae</i> к-20921 × <i>S. chacoense</i> к-19759	У/Р к YBK, У/Р к <i>G. rostochiensis</i> , У/Р к <i>S. endobioticum</i>	57R/ <i>H1</i> , N195/ <i>H1</i> , RYSC3-320/ <i>Ryadg</i> , R8-1259/ <i>R8</i> , Rpi-blb2-976/ <i>Rpi-blb2</i>
8-8-2004	<i>S. okadae</i> к-20921 × <i>S. chacoense</i> к-19759	У/Р к YBK, У/Р к <i>G. rostochiensis</i> , У/Р к <i>S. endobioticum</i>	57R/ <i>H1</i> , N195/ <i>H1</i> , RYSC3-320/ <i>Ryadg</i>

Примечание: КУ – крайняя устойчивость; СЧ – сверхчувствительность; У – устойчивость; УУ – умеренная устойчивость; ПУ – полевая устойчивость; УВ – умеренная восприимчивость

Note: ER – extreme resistance; HS – hypersensitivity; R – resistance; MR – medium resistance; FR – field resistance; MS – medium susceptibility

Гибриды и сорт 'Фаворит' изучали в течение семи лет (2014–2020 гг.) на опытном поле отдела семеноводства Тульского научно-исследовательского института сельского хозяйства (теперь филиал ФИЦ «Немчиновка»). Почва – хорошо окультуренный, выщелоченный, среднесуглинистый чернозем. Агрохимические показатели почвенного плодородия: P_2O_5 – 19–21 мг/100 г; K_2O – 11,2–12,2 мг/100 г; сумма поглощенных оснований – 39,2–39,8 ммоль/100 г; pH – 5,2–5,6; гумус – 5,3–5,8%. Предшественник картофеля – озимая пшеница или озимая тритикале. Агротехника традиционная для Тульской области. Учеты проводили в соответствии с общепринятой методикой (Kiru et al., 2010; Methodological guidelines..., 1981; Methodology for state..., 1985). Данные о температуре воздуха и количестве осадков получены на метеорологической станции 2 разряда Плавск, расположенной в поселке Молочные двory, географические координаты – 53°65' с. ш., 37°23' в. д.

Условия вегетации характеризовали с использованием ГТК – гидротермического коэффициента (Rudenko, Kovalchuk, 1971). Оценивали продуктивность ($кг/м^2$) и элементы структуры урожая: число клубней на растении (шт.), среднюю массу клубня (г) и товарность (%) – отношение массы товарных клубней (весом 40 г и более) к общей массе клубней. Экологическую пластичность определяли по методике, представленной в работе Н. П. Скляровой и В. А. Жаровой (Sklyarova, Zharova, 1998). Вычислили b_1 – коэффициент линейной регрессии урожайности при градации экологических условий (по годам) и σ^2 – дисперсию отклонений фактической урожайности от теоретически возможной урожайности. Статистическую обработку данных выполняли в программах Excel и Statistica 13 StatSoft Russia.

Результаты

Агрометеорологические условия вегетационных периодов 2014–2020 гг.

Агрометеорологические условия вегетационных периодов в течение семи лет (2014–2020) испытаний были крайне нестабильными и малоблагоприятными для получения высоких урожаев картофеля с хорошими потребительскими качествами.

В 2014 г. отмечено преобладание сухой и жаркой погоды во вторую половину вегетации. Запасы продуктивной влаги в слое 0–50 см со II декады мая были недостаточными, а с I декады июля и в августе – плохими, что отрицательно сказалось на росте, развитии и продуктивности картофеля. Среднесуточные температуры воздуха в период клубнеобразования (июль – август) превышали средние многолетние значения при остром дефиците осадков (рис. 1, 2), что вызвало угнетение растений в результате засухи. Отмечались слабое увядание и потеря тургора в послеполуденный период практически на всех испытываемых сортах и гибридах.

В 2015 г. запасы продуктивной влаги в слое 0–20 см были недостаточными в период всходов. Осадки со II декады июня по II декаду июля способствовали росту вегетативной массы. Цветение и клубнеобразование проходило при хорошей влагообеспеченности. Но почти ежедневные моросящие дожди и высокие температуры создали условия для развития альтернариоза.

В 2016 г. в период вегетации выпало аномальное количество осадков (см. рис. 1), наибольшее за весь период метеонаблюдений в ТулНИИСХ (с 1994 г.). Сумма осадков составила 871,5 мм (137% от средней многолетней вели-

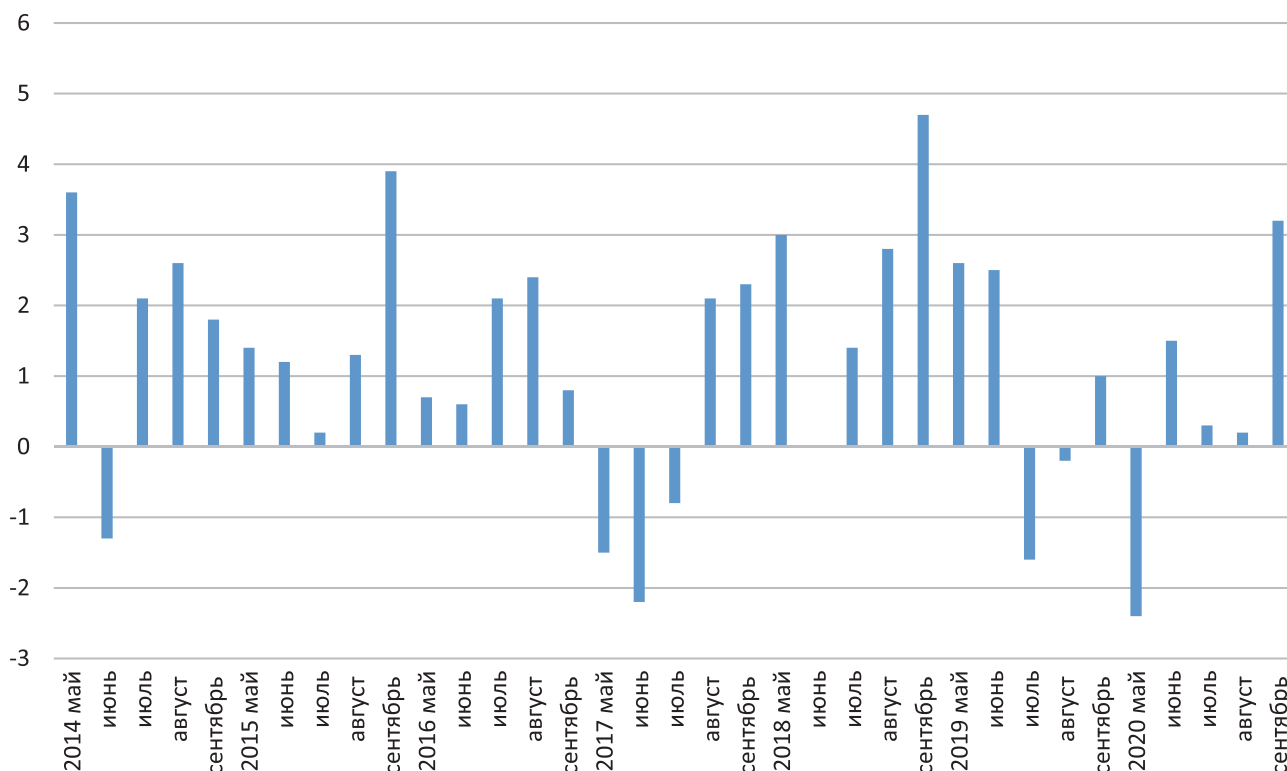


Рис. 1. Отклонения среднемесячных температур воздуха (°C) в периоды вегетации картофеля от климатической нормы для Тульской области

Fig. 1. Mean monthly air temperature (°C) deviations from the climate normal during the potato growing seasons in Tula Province

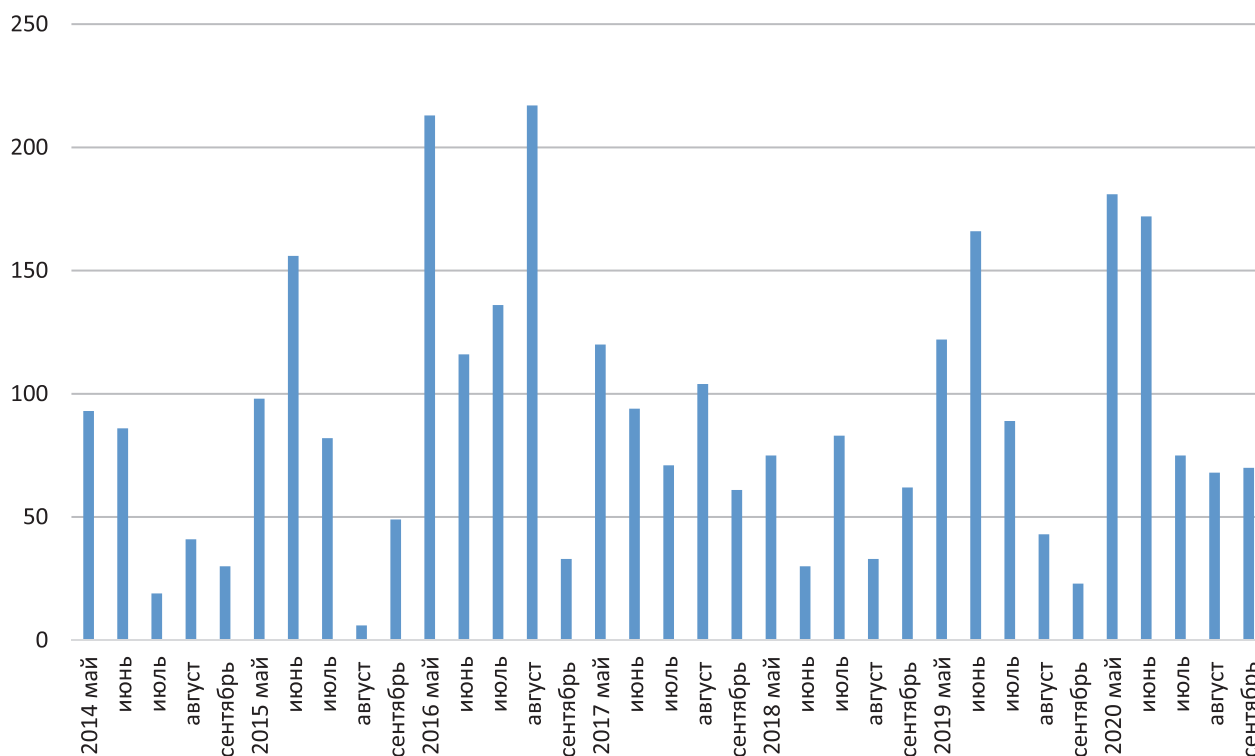


Рис. 2. Отклонения количества атмосферных осадков (%) в периоды вегетации картофеля от климатической нормы для Тульской области

Fig. 2. Rainfall (%) deviations from the climate normal during the potato growing seasons in Tula Province

чины). Интенсивные ливневые дожди сопровождались сильным ветром и градом, привели к переувлажнению и уплотнению почвы. Теплая и влажная погода благоприятствовала появлению и интенсивному развитию грибных болезней на растениях картофеля.

В 2017 г. вегетационный период отличался недобором тепла и солнечного сияния. Распределение осадков было неравномерным: обильные осадки выпали в самые холодные периоды – со II декады мая по I декаду июня, когда средняя температура воздуха была на 4,2–3,8°C ниже многолетних значений (см. рис. 1, 2). Продолжительность солнечного сияния с мая по август составила 43–55% от возможного. Сумма активных температур (> +10°C) за май – сентябрь составила 2259°C, то есть была на 132°C меньше, чем в 2016 г. Дождливая пасмурная погода благоприятствовала появлению и интенсивному развитию грибных болезней на картофеле.

Вегетационный период 2018 г. характеризовался существенным недобором осадков (см. рис. 2). Количество осадков в мае составило 35,6 мм (79% нормы) при температуре воздуха на 3,0°C выше средних многолетних значений (см. рис. 1, 2). Температура воздуха в июле, августе и сентябре превышала средние многолетние значения на 1,0–4,0°C, осадков выпало 83–33% от нормы.

Вегетационный период 2019 г. существенно отличался от предшествующих лет испытаний наступлением весны на две недели раньше обычного. Осадков за летний период выпало 296 мм (129% нормы). Прохладная температура во вторую половину вегетации способствовала появлению и быстрому распространению фитофтороза.

Вегетационный период 2020 г. отличался продолжительной прохладной и дождливой весной. Средняя температура воздуха за летний период составила +18,3°C (на

1,1°C выше средней многолетней). После обильных дождей в мае и июне (более 150% средних многолетних значений) в два следующих месяца осадки выпадали в виде морозящих дождей, частые туманы и прохладная погода в конце июля способствовали развитию фитофтороза и макроспориоза.

В целом вегетационные периоды 2014–2020 гг. характеризовались разнообразием погодных условий, ежегодно отмечены положительные и отрицательные аномалии по тепло- и влагообеспеченности.

Продуктивность и элементы структуры урожая

Продуктивность гибридов картофеля и сорта 'Фаворит' варьировала в годы испытаний. Доля влияния фактора «год» составляет 38%, наибольшее влияние условия среды оказывали на продуктивность (27%) и число клубней на растении (25%), в меньшей степени – на товарность (15%). Доля влияния генотипа (фактор «сорт») составляет 29%, наибольшее влияние генотип оказывает на среднюю массу клубней (26%).

В среднем по опыту в зависимости от года испытания статистически значимы различия в продуктивности ($F = 9,63$; $p < 0,001$), числу клубней на растении ($F = 8,58$; $p < 0,001$) и товарности ($F = 5,07$; $p < 0,001$). Наибольшая продуктивность в среднем по опыту получена в 2016 г., наименьшая – в 2018 (табл. 2). На основе значений ГТК 2016 и 2020 г. характеризуются избыточным увлажнением, 2014 и 2018 – засушливостью, 2015, 2017 и 2019 – достаточной влагообеспеченностью. Высокая чувствительность картофеля к повышенным температурам и недостатку влаги объясняет минимальную величину средней продуктивности по опыту в 2018 г. (см. табл. 2). В 2016 г. небольшое (0,5–2,0°C) превышение температуры возду-

Таблица 2. Условия вегетации и продуктивность картофеля в 2014–2020 гг. в ТулНИИСХ, пос. Молочные дворы

Table 2. Weather conditions and potato productivity during the growing seasons of 2014-2020, Tula Research Institute of Agriculture, Molochnye Dvory Settlement

Год	Условия среды		Продуктивность и элементы структуры урожая						
	ГТК	Индекс среды	Продуктивность, кг/м ²	V, %	Число клубней, шт.	V, %	Масса клубня, г	V, %	Товарность, %
2014	0,73	0,27	3,44 ^{ab}	22	12,4 ^{ab}	20	71,3	23	83 ^a
2015	1,17	0,05	3,22 ^{ab}	26	13,1 ^{ab}	23	63,4	27	82 ^a
2016	2,19	0,68	3,84^a	15	14,2^a	25	70,0	24	84 ^a
2017	1,41	0,17	3,34 ^b	17	11,9 ^b	36	76,1	29	85 ^a
2018	0,72	-0,83	2,34 ^c	26	8,6 ^b	20	69,6	27	86 ^a
2019	1,44	0,02	3,19 ^{ab}	18	11,7 ^b	15	69,5	22	84 ^a
2020	1,83	-0,33	2,84 ^{ab}	28	9,4 ^b	34	82,6	41	73 ^b

Примечание: ГТК – гидротермический коэффициент, V – коэффициент вариации (%); одинаковыми буквами обозначены значения, отличающиеся несущественно при $p < 0,05$

Note: ГТК – hydrothermal coefficient; V – coefficient of variation (%); the same letters denote values that differ insignificantly at $p < 0.05$

ха вместе с избыточным количеством осадков обеспечили высокую продуктивность растений картофеля. В 2017 и 2019 г. при достаточной влагообеспеченности наблюдалась нехватка тепла, что привело к недобору урожая (см. табл. 2 и рис. 1, 2). В 2014 г. недобор тепла в начальный период вегетации не стал критичным для растений, а последующее повышение температуры, даже при дефиците осадков, позволило получить неплохой урожай. Вариация между изучаемыми образцами картофеля по продуктивности была средней в 2016, 2017 и 2019 г., в остальные годы испытаний – значительной (см. табл. 2).

В целом, оценивая влияние климатических особенностей периода вегетации на продуктивность, можно сделать вывод, что гибриды картофеля наиболее чувствительны к действию высоких температур при недостатке влаги (2018 г.) и недостатку тепла при избыточном увлажнении (2020 г.).

Наибольшее число клубней на растении в среднем по опыту получено в 2016 г., наименьшее – в 2018 и 2020 г. Изменчивость по числу клубней на растении была средней в 2019 г., в остальные годы – значительной. По средней массе клубня в опыте достоверных различий в зависимости от года испытаний не выявлено, изменчивость по массе клубней между гибридами картофеля на протяжении всего периода испытаний значительная, наибольшая – в 2020 г. (см. табл. 2). Товарность (доля клубней массой 40 г и более) стабильно составляла 82–86% в первые шесть лет испытаний и достоверно понизилась в 2020 г. Невысокий показатель товарности (за все годы испытаний в среднем по опыту не превышавший 86%) отражает общую особенность межвидовых гибридов картофеля: формирование гнезда с большим количеством некрупных клубней.

В среднем по опыту продуктивность картофеля в годы испытаний зависела от числа клубней на растении ($r = 0,55$; $p < 0,05$) и в меньшей степени – от массы клубней ($r = 0,34$; $p < 0,05$). Установлена отрицательная связь числа клубней и средней массы одного клубня ($r = -0,53$; $p < 0,05$).

В 2014, 2015 и 2018 г. во второй половине июля отмечено массовое появление и развитие на листьях растений картофеля альтернариоза – *Alternaria solani* Sorauer (syn. *Macrosporium solani* Ellis et G. Martin). В наибольшей степени восприимчивы к заболеванию гибриды 99-6-5, 99-1-3, 135-1-2006 и 167-1-2008, у которых к началу августа отмечено поражение более 50% площади листовой поверхности. У гибридов 52-8, 99-4-1 и 99-6-6 до окончания вегетации не отмечено признаков поражения альтернариозом.

В 2016, 2017, 2019 и 2020 г. погодные условия способствовали поражению растений фитофторозом. Быстрое развитие заболевания отмечено в 2016 и 2020 г. и замедленное – в 2017 и 2019 г. Шесть гибридов: 99-6-5, 99-6-6, 99-1-3, 99-4-1, 52-8 и 8-8-2004 не были поражены фитофторозом, поражение листьев отмечено у сорта 'Фаворит' и остальных гибридов.

У гибридов 138-3-2006, 34-5-2003, 117-2, 8-3-2004 и 135-3-2005 в послеуборочный период отмечено 2,4–17,4% клубней, пораженных фитофторозом. Эпифитотия фитофтороза в 2020 г привела к быстрому (за семь дней) уничтожению наземной части растений. Прекращение поступления пластических веществ в клубни стало причиной существенного недобора урожая, сопоставимого с недобором в засушливом 2018 г. (см. табл. 2). Неравномерное поступление осадков в течение вегетационного периода в 2014, 2015 и 2017 г. привело к появлению физиологических (ростовых) трещин у гибридов 99-6-5, 122-29, 117-2, 34-5-2003 и 167-1-2008.

Изученные образцы картофеля различаются по реакции на условия среды. Максимальная продуктивность сорта 'Фаворит' (5,2 кг/м²), гибридов 99-6-5 (4,7 кг/м²) и 34-5-2003 (4,5 кг/м²) отмечена в 2015 г., гибрида 122-29 (5,1 кг/м²) и 99-1-3 (4,8 кг/м²) – в 2016 г, гибрида 99-6-6 (4,8 кг/м²) – в 2014 г., гибрида 117-2 (4,4 кг/м²) – в 2020 г. В исследованной выборке по результатам семилетних испытаний выделены две группы: гибриды с продуктивностью на уровне сорта 'Фаворит' и малопродуктивные (табл. 3). Средняя изменчивость продуктивности по годам (коэффициент варьирования 14–16%)

Таблица 3. Продуктивность, параметры пластичности и стабильности межвидовых гибридов картофеля
 Table 3. Productivity, plasticity and stability of interspecific potato hybrids

Сорт, гибрид	Продуктивность и элементы структуры урожая										Пластичность (b ₁)	Стабильность (σ ²)
	Продуктивность, кг\м ²		Число клубней/растение, шт.		Средняя масса клубня, г		Товарность, %					
	Хср ± Sx	V	Хср ± Sx	V	Хср ± Sx	V	Хср ± Sx	V				
St. Фаворит	3,98 ± 0,40*	27	10,21 ± 0,83	21	101,10 ± 4,39*	11	87,4 ± 3,7*	1,5	0,83			
117-2	3,59 ± 0,22*	16	9,47 ± 0,95	27	102,22 ± 15,69*	41	91,0 ± 1,8*	0,2	0,41			
122-29	3,58 ± 0,34*	25	14,30 ± 2,20*	41	67,19 ± 7,00	27	80,4 ± 4,3	1,5	0,45			
99-6-5	3,56 ± 0,29*	21	13,30 ± 0,81	16	68,71 ± 5,38	21	80,0 ± 3,7	0,9	0,51			
99-1-3	3,49 ± 0,30*	22	10,78 ± 1,30	32	85,43 ± 8,96*	28	85,4 ± 1,3*	1,0	0,49			
99-6-6	3,44 ± 0,39*	30	13,20 ± 1,31	26	65,46 ± 7,04	28	78,5 ± 3,8	1,8	0,41			
34-5-2003	3,38 ± 0,36*	28	14,66 ± 1,23*	22	59,48 ± 3,37	15	71,9 ± 4,5	1,3	0,72			
88-2	3,26 ± 0,25	20	10,86 ± 0,85	21	75,40 ± 3,43	12	88,0 ± 2,7*	1,2	0,21			
135-1-2006	3,20 ± 0,24	20	10,93 ± 0,99	24	75,28 ± 5,43	19	85,4 ± 3,0*	0,4	0,45			
99-4-1	3,15 ± 0,32	27	11,61 ± 1,68	38	71,17 ± 6,64	25	79,0 ± 4,6	0,8	0,74			
167-1-2008	3,07 ± 0,34	30	11,24 ± 1,62	38	71,61 ± 5,32	20	78,2 ± 5,0	1,4	0,82			
25-2-2007	3,05 ± 0,16	14	11,74 ± 1,07	24	68,10 ± 7,37	29	82,8 ± 4,3*	0,1	0,22			
134-6-2006	2,98 ± 0,28	25	12,57 ± 1,76	37	63,91 ± 7,93	33	79,2 ± 1,8	1,3	0,23			
52-8	2,98 ± 0,28	25	13,29 ± 1,20*	24	56,16 ± 3,13**	15	77,8 ± 3,7	1,1	0,37			
8-8-2004	2,95 ± 0,33	30	11,79 ± 0,80	18	62,70 ± 5,93	25	84,2 ± 2,3*	1,0	0,72			
8-3-2004	2,95 ± 0,18	16	13,18 ± 1,18*	24	57,22 ± 3,09**	14	75,6 ± 2,8	1,0	0,05			
138-3-2006	2,94 ± 0,22	20	10,87 ± 1,01	25	69,36 ± 5,12	19	85,1 ± 1,4*	1,0	0,19			
135-3-2005	2,93 ± 0,29	26	8,98 ± 1,15**	34	86,85 ± 10,53*	32	88,6 ± 2,7*	1,5	0,12			
135-5-2005	2,56 ± 0,18**	19	8,85 ± 0,75**	22	71,46 ± 5,62	21	88,8 ± 2,1*	0,9	0,08			
135-2-2006	2,44 ± 0,27**	30	10,70 ± 1,03	25	57,35 ± 4,51**	21	78,3 ± 2,8	1,5	0,08			
Среднее	3,17 ± 0,07	25	11,63 ± 0,29	30	71,81 ± 1,80	30	82,3 ± 0,8	-	-			
НСР 05	-	-	3,44	-	19,2	-	-	-	-			

Примечание: Хср – среднее значение показателя; Sx – ошибка среднего значения; V – коэффициент вариации (%); символами * и ** обозначены значения, отличающиеся несущественно при p < 0,05; «-» – не определен

Note: Хср – mean value; Sx – error of the mean; V – coefficient of variation (%); * and ** denote values that differ insignificantly at p < 0,05; dash (-) means that the value was not measured

обнаружена у гибридов 117-2, 25-2-2007, 135-5-2005 и 8-3-2004, у остальных гибридов и сорта 'Фаворит' отмечена значительная изменчивость продуктивности по годам.

Особенно заметны различия в реакциях на условия среды у сорта 'Фаворит' и гибрида 117-2, которые имеют близкие значения продуктивности (см. табл. 3). В зависимости от вегетационного периода у гибрида 117-2 варьируют показатели структуры урожая: в неблагоприятном 2018 г. уменьшается число клубней на растении, но возрастает средняя масса клубня, в благоприятном 2016 г. на растении формируется больше клубней, но снижается их средний вес. Продуктивность сорта 'Фаворит' определяется количеством клубней на растении ($r = 0,95$). Уменьшение числа сформировавшихся в 2018 и 2019 г. клубней не компенсировалось увеличением их массы, средняя масса клубня сорта 'Фаворит' варьирует незначительно (см. табл. 3).

Гибриды картофеля достоверно различаются по числу клубней на растении ($F = 1,79$; $p = 0,03$), средней массе клубня ($F = 3,59$; $p < 0,001$) и товарности ($F = 2,41$; $p = 0,002$). По признаку «число клубней на растении» выделены гибриды 122-29 и 34-5-2003, формирующие в среднем по 14 клубней. По средней массе клубня (более 100 г) сорт 'Фаворит' и гибрид 117-2 достоверно превосходят остальные гибриды. Однако у сорта 'Фаворит' изменчивость показателя «средняя масса клубня» меньше, нежели чем у гибридов картофеля (см. табл. 3). Товарность более 90% отмечена у гибрида 117-2, товарность более 82% – у 10 гибридов и сорта 'Фаворит'.

Пластичность и стабильность гибридов картофеля

Показатель пластичности b_1 в исследованной выборке гибридов картофеля составляет от 0,1 до 1,8 и отражает разнообразие реакций изучаемых образцов на изменение условий выращивания (см. табл. 3). Сорт 'Фаворит' и гибриды 122-29, 99-6-6, 135-3-2005 и 135-2-2006 относятся к интенсивному типу ($b_1 = 1,5-1,9$), высокоотзывчивы на изменение факторов среды и формируют высокий урожай при максимально благоприятных условиях выращивания.

Гибриды 117-2, 135-1-2006 и 25-2-2007 ($b_1 = 0,1-0,4$) относятся к экстенсивному типу, то есть к слабо реагирующим на условия выращивания. Высокой экологической пластичностью характеризуются гибриды 99-6-5, 99-1-3, 52-8, 8-8-2004, 8-3-2004, 138-3-2006 и 135-5-2005 (b_1 около 1). При выращивании в течение семи лет, при положительных и отрицательных аномалиях тепло- и влагообеспеченности, изменение продуктивности этих гибридов соответствовало изменению условий среды (при благоприятных условиях продуктивность возрастала, при неблагоприятных снижалась).

Показатель стабильности σ^2 в исследованной выборке гибридов картофеля варьирует от 0,05–0,08 у гибридов 8-3-2004, 135-5-2005 и 135-2-2006 до 0,82–0,83 у сорта 'Фаворит' и гибрида 167-1-2008 (см. табл. 3). Наиболее стабильный урожай (σ^2 около 0) формируют гибриды с невысокой или средней продуктивностью. Более высокие показатели стабильности у сортов с невысокой продуктивностью отмечены в ранее проведенных исследованиях сортов картофеля в условиях Центрального региона (Sklyarova, Zharova, 1998). Среди высокопродуктивных гибридов выделяются 117-2, 122-29, 99-6-5, 99-1-3 и 99-6-6, которые занимают промежуточное положение

по способности давать стабильный урожай ($\sigma^2 = 0,41-0,51$).

На основании показателей пластичности и стабильности сорт 'Фаворит' характеризуется как интенсивный, с низкой стабильностью урожая. Среди гибридов выделяются: 135-2-2006 – интенсивного типа со стабильным урожаем, 122-29 и 99-6-6 – интенсивного типа со средней стабильностью урожая; 117-2 – экстенсивный, средне-стабильный и 8-3-2004 и 135-5-2005 – экологически пластичные с высокой стабильностью урожая.

Обсуждение результатов

Гибриды картофеля, рекомендованные для создания с использованием ДНК-маркеров сортов картофеля, устойчивых к фитопатогенам, оценены по продуктивности и элементам структуры урожая в течение семи лет, контрастных по тепло- и влагообеспеченности. Погодные условия периодов вегетации не были благоприятны, и потенциал продуктивности сорта 'Фаворит' и гибридов картофеля не реализован. Значимое влияние на продуктивность растений картофеля фактора «год» согласуется с данными других исследователей, полученными в разных регионах России (Pakul et al., 2019; Sintsova et al., 2018; Sklyarova, Zharova, 1998).

Гибриды, созданные в ВИР, уже на первом этапе предселекции проходят тщательную оценку по хозяйственно ценным признакам, что обеспечивает у отобранных клонов сочетание продуктивности с устойчивостью к болезням и вредителям. В результате многолетних опытов в контрастных метеоусловиях установлены различия в реакции гибридных генотипов на изменения внешних факторов. Среди близкородственных гибридов, схожих по продуктивности, выделены генотипы, которые отличаются по стабильности и пластичности. Например, 99-6-6 и 99-6-5 или 135-1-2006 и 134-6-2006. Знание особенностей реакций исходного материала на изменения условий выращивания способствует обоснованному подбору родительских пар для скрещивания в практической селекции. Сведения о наличии ДНК-маркеров генов устойчивости к болезням и вредителям дают основание для проведения маркер-опосредованного отбора в потомстве.

В современном агропроизводстве, наряду с системой интенсивного хозяйства, возвращается интерес к экстенсивному земледелию. В условиях нестабильного климата выращивание сортов экстенсивного типа позволит получать гарантированный урожай при минимизации затрат на средства защиты от вредных организмов. В исследованном наборе гибридов картофеля клон 117-2, устойчивый к золотистой картофельной нематоде и фитофторозу, относится к экстенсивному типу со средней стабильностью урожая, по продуктивности не уступает сорту 'Фаворит'.

У сорта 'Фаворит' обнаружена высокая пластичность и самая низкая стабильность урожая, что означает слабую предсказуемость результатов выращивания этого сорта при изменении погодных условий. Среди 19 гибридов выявлен один – 135-2-2006 – с наиболее ценным типом реакции на изменение климатических факторов ($b_1 > 1$, σ^2 стремится к 0). При выращивании в условиях Центрального региона Европейской части России гибрид 135-2-2006 характеризуется высокой интенсивностью и стабильностью урожая, однако уступает остальным изученным образцам по продуктивности, поскольку образует некрупные клубни массой 50–60 г. Большинство ги-

бридов относятся к интенсивному типу с нестабильным или среднестабильным урожаем. Различия в реакциях на изменения климатических факторов выявлены у близкородственных гибридов. Сибсы, отобранные, как и 135-2-2006, в потомстве от скрещивания сорта 'Свитанок Киевский' с 24-1 (на основе вида *Solanum alandiae* Card.), относятся к экстенсивному типу (135-1-2006) или интенсивному типу (134-6-2006), оба со средней стабильностью урожая (см. табл. 1, 3). Из четырех гибридов, отобранных в потомстве от скрещивания *S. okadae* к-20921 × *S. chacoense* к-19759, один – интенсивного типа, три – экологически пластичные, из них два – со стабильной урожайностью (см. табл. 1, 3).

Положительные и отрицательные аномалии тепло- и влагообеспеченности в период проведения испытаний лимитировали формирование потенциально возможной продуктивности у большинства испытываемых гибридов и способствовали развитию болезней. Устойчивость к фитофторозу картофеля в период эпифитотийного развития болезни отмечена у близкородственных гибридов 99-6-5 и 99-6-6. Эти гибриды имеют пять и шесть генов устойчивости к фитофторозу соответственно, в том числе два гена широкой специфичности *Rpi-blb 1 = Rpi-sto1* и *Rpi-vnt1.3*, которые и обеспечивают надежную защиту от заболевания (см. табл. 1). Непоражаемость гибридов 99-6-6, 52-8 и 99-4-1 альтернариозом, обнаруженная в ходе исследования, указывает на перспективность их изучения как источников генов устойчивости к заболеванию. Большая часть гибридов характеризуется групповой устойчивостью к патогенам: устойчивостью к вирусу картофеля Y и/или раку и золотистой картофельной нематоде (см. табл. 1). Наличие у гибридов внутригенных ДНК-маркеров или маркеров, сцепленных с генами, контролирующими устойчивость к патогенам, позволит проводить маркер-опосредованный отбор в потомстве от скрещивания этих гибридов с сортами. Для эффективного использования гибридов ВИР в селекции их характеристика дополнена сведениями о реакции генотипов на изменение погодных факторов.

Селекционный материал, созданный на основе других гибридов из коллекции ВИР и охарактеризованный по наличию ДНК-маркеров и устойчивости к неблагоприятным средовым факторам, уже используется в практической селекции по выведению сортов с высокими адаптивными свойствами в условиях Западно-Сибирского региона (Rakul et al., 2019). Разнообразие почвенно-климатических условий нашей страны и нестабильность погодных факторов определяют актуальность региональной селекции, ориентированной на создание сортов, максимально приспособленных к конкретным условиям. Полученные нами данные позволяют целенаправленно включать гибриды ВИР в скрещивания при создании сортов картофеля для Центрального региона России.

Гибриды 99-6-5 и 135-5-2005 использованы в качестве материнских форм в селекционной программе Федерального исследовательского центра ВНИИКХ имени А.Г. Лорха. Родительские пары подбирали с учетом генетической отдаленности, возрастного соотношения и возможности реализации при однократных скрещиваниях желаемых рекомбинаций нескольких хозяйственно ценных признаков (Simakov et al., 2017). С учетом необходимости создания генотипов с комплементарными, взаимодополняющими признаками наибольший интерес для селекции сортов с высокой экологической устойчивостью в Центральном регионе представляют гибриды 99-6-5, 99-1-3, 8-3-2004 и 8-8-2004.

Заключение

Изучение в течение семи лет с контрастными метеорологическими условиями гибридов картофеля из коллекции ВИР выявило значимое влияние особенностей вегетационного периода на продуктивность растений. Различия в реакции близкородственных генотипов на изменения факторов среды обуславливают необходимость учета параметров пластичности и стабильности урожая при выборе родительских пар для гибридизации. Экологически пластичные гибриды 99-6-5, 99-1-3, 8-3-2004 и 8-8-2004 следует включать в селекцию по созданию сортов, адаптированных к условиям Центрального региона Российской Федерации.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0608-2019-0015 «Выявить новые стрессоустойчивые сортообразцы сельскохозяйственных культур, сочетающих высокую потенциальную продуктивность и качество семян, адаптированных к условиям северной части Лесостепной зоны и разработать элементы технологий возделывания новых сортов зерновых и зернобобовых культур для адаптивных систем земледелия в условиях Нечерноземной зоны» и согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0004 «Коллекции ВИР вегетативно размножаемых культур (картофель, плодовые, ягодные, декоративные, виноград) и их диких родичей – изучение и рациональное использование».

The research was conducted within the framework of State Task No. 0608-2019-0015 "To identify new stress-resistant crop varieties that combine high potential productivity and seed quality, adapted to the conditions of the northern part of the Forest-Steppe Zone, and to develop elements of technologies for the cultivation of new varieties of cereal and leguminous crops for adaptive farming systems in the environments of the Non-Black Earth Zone of Russia", and according to according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0004 "Collections of vegetatively propagated crops (potato, fruit, berry and ornamental crops, grapes) and their wild relatives at VIR: studying and sustainable utilization".

References / Литература

- Devaux A., Goffart J.P., Petsakos A., Kromann P., Gatto M., Okello J., Suarez V., Hareau G. Global food security, contributions from sustainable potato agri-food systems. In: H. Campos, O. Ortiz (eds). *The Potato Crop. Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind*. Cham: Springer; 2020. p.3-35. DOI: 10.1007/978-3-030-28683-5_1
- Hijmans R.J. The effect of climate change on global potato production. *American Journal of Potato Research*. 2003;80:271-279. DOI:10.1007/BF02855363
- Kaukoranta T., Hakala K. Impact of spring warming on sowing times of cereal, potato and sugar beet in Finland. *Agricultural and Food Science*. 2008;17(2):165-176. DOI: 10.2137/145960608785328198
- Kiru S.D., Kostina L.I., Truskinov E.V., Zoteyeva N.M., Rogozina E.V., Koroleva L.V., Fomina V.E., Palekha S.V., Kosareva O.S., Kirilov D.A. Guidelines for the maintenance and study of the global potato collection (Metodicheskiye ukazaniya po podderzhaniyu i izucheniyu mirovoy kollektcii kartofelya). St. Petersburg: VIR;

2010. [in Russian] (Киру С.Д., Костина Л.И., Трускинов Э.В., Зотеева Н.М., Рогозина Е.В., Королева Л.В., Фомина В.Е., Палеха С.В., Косарева О.С., Кирилов Д.А. Методические указания по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля. Санкт-Петербург: ВИР; 2010).
- Methodological guidelines for agroecological testing of potatoes (Metodicheskiye ukazaniya po agroekologicheskomu ispytaniyu kartofelya). Moscow; Korenevo: All-Union Research Institute of Potato Farming; 1981. [in Russian] (Методические указания по агроэкологическому испытанию картофеля. Москва; Коренево: ВНИИКХ; 1981).
- Methodology for state variety testing of agricultural crops (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur). Moscow: Kolos; 1985. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Москва: Колос; 1985).
- Novikova L.Yu., Kiru S.D., Rogozina E.V. Valuable traits of potato (*Solanum* L.) varieties as influenced by climate change in European Russia. *Agricultural Biology*. 2017;52(1):75-83. [in Russian] (Новикова Л.Ю., Киру С.Д., Рогозина Е.В. Проявление хозяйственно ценных признаков у сортов картофеля (*Solanum* L.) при изменении климата на европейской территории России. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(1):75-83). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.1.75rus
- Pakul V.N., Lapshinov N.A., Gantimurova A.N., Kulikova V.I. Donors of potato (*Solanum* L.) plasticity and yield stability traits in the environmental conditions of north forest steppe of Western Siberia. *Agricultural Biology*. 2019;54(5):978-989. [in Russian] (Пакуль В.Н., Лапшинов Н.А., Гантимурова А.Н., Куликова В.И. Источники ценных признаков картофеля (*Solanum* L.) по пластичности и стабильности в условиях северной лесостепи Западной Сибири. *Сельскохозяйственная биология*. 2019;54(5):978-989). DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.978rus
- Rogozina E.V., Beketova M.P., Muratova O.A., Kuznetsova M.A., Khavkin E.E. Stacking resistance genes in multiparental interspecific potato hybrids to anticipate late blight outbreaks. *Agronomy*. 2021;11(1):115. DOI: 10.3390/agronomy11010115
- Rogozina E.V., Chalaya N.A., Beketova M.P., Biryukova V.A., Kirpicheva M.A., Kuznetsova M.A., Manankov V.V., Fadina O.A., Khlopyuk M.S., Khavkin E.E.. Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 866. Interspecific potato hybrids resistant to disease causative agents. St. Petersburg: VIR; 2018. [in Russian] (Рогозина Е.В., Чалая Н.А., Бекетова М.П., Бирюкова В.А., Кирпичева Т.В., Кузнецова М.А., Мананков В.В., Фадинова О.А., Хлопюк М.С., Хавкин Э.Е. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 866. Межвидовые гибриды картофеля, устойчивые к возбудителям болезней. Санкт-Петербург: ВИР; 2018).
- Rogozina E.V., Terentjeva E.V., Potokina E.K., Yurkina E.N., Nikulin A.V., Alekseev Ya.I. Multiplex PCR-based identification of potato genotypes as donors in breeding for resistance to diseases and pests. *Agricultural Biology*. 2019;54(1):19-30. [in Russian] (Рогозина Е.В., Терентьева Е.В., Потокина Е.К., Юркина Е.Н., Никулин А.В., Алексеев Я.И. Идентификация родительских форм для селекции картофеля, устойчивого к болезням и вредителям, методом мультиплексного ПЦР-анализа. *Сельскохозяйственная биология*. 2019;54(1):19-30). DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.19rus
- Rudenko A.I., Kovalchuk G.N. Crop arrangement and harvests of potato in the USSR in the context of climate conditions (Razmeshcheniye posevov i urozhay kartofelya v SSSR v svyazi s klimaticheskimi usloviyami). In: *Cultivated Flora of the USSR. Vol. 9. Potato (Kulturnaya flora SSSR. T. 9. Kartofel)*. Leningrad: Kolos; 1971. p.417-429. [in Russian] (Руденко А.И., Ковальчук Г.Н. Размещение посевов и урожай картофеля в СССР в связи с климатическими условиями. В кн.: *Культурная Флора СССР. Т. 9. Картофель*. Ленинград: Колос; 1971. С.417-429).
- Simakov E.A., Zharova V.A., Mityushkin A.V., Biryukova V.A., Rogozina E.V., Kiru S.D. The use of genetic resources to increase the efficiency of potato breeding. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2017;178(2):113-121. [in Russian] (Симаков Е.А., Жарова В.А., Митюшкин А.В., Бирюкова В.А., Рогозина Е.В., Киру С.Д. Использование генетических ресурсов картофеля для повышения эффективности селекции. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017;178(2):113-121). DOI: 10.30901/2227-8834-2017-2-113-121
- Sintsova N.F., Sergeeva Z.F., Bashlakova O.N. Plasticity and stability of potato varieties bred by Falenki breeding station. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2018;65(4):54-58. [in Russian] (Синцова Н.Ф., Сергеева З.Ф., Башлакова О.Н. Пластичность и стабильность сортов картофеля селекции Фалёнской селекционной станции. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018;65(4):54-58). DOI: 10.30766/2072-9081.2018.65.4.54-58
- Sklyarova N.P., Zharova V.A. Characteristics of new potato varieties in terms of plasticity and stability (Kharakteristika novykh sortov kartofelya po parametram plastichnosti i stabilnosti). *Seleksiya i semenovodstvo = Plant Breeding and Seed Production*. 1998;(2):18-23. [in Russian] (Склярова Н.П., Жарова В.А. Характеристика новых сортов картофеля по параметрам пластичности и стабильности. *Селекция и семеноводство*. 1998;(2):18-23).
- Slater A.T., Cogan N.O.I., Hayes B.J., Schultz L., Dale M.F.B., Bryan G.J. et al. Improving breeding efficiency in potato using molecular and quantitative genetics. *Theoretical and Applied Genetics*. 2014;127(11):2279-2292. DOI: 10.1007/s00122-014-2386-8
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1. "Plant varieties" (official publication). Moscow; Rosinformagrotekh; 2020. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2020). URL: https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2020/03/FIN_reestr_dop_12_03_2020.pdf [дата обращения: 08.06.2021].

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Хлопук М.С., Чалая Н.А., Рогозина Е.В. Стабильность агрономически ценных признаков у клонов межвидовых гибридов картофеля в условиях Центрального региона европейской территории России. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):79-89. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-79-89

Khlopyuk M.S., Chalaya N.A., Rogozina E.V. Stability of agronomic traits in interspecific hybrid potato clones in the Central Region of European Russia. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(4):79-89. DOI:10.30901/2227-8834-2021-4-79-89

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-79-89>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Khlopyuk M.S. <https://orcid.org/0000-0002-0228-6925>

Chalaya N.A. <https://orcid.org/0000-0002-8515-7941>

Rogozina E.V. <https://orcid.org/0000-0002-2743-068x>

Флористические новинки в контексте междисциплинарных исследований

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-90-101

УДК 581.6:39:81:001

Поступление/Received: 30.08.2021

Принято/Accepted: 16.11.2021

Н. П. СТЕПАНЯН-ГАНДИЛЯН^{1*}, Р. А. ОВСЕПЯН²

¹ Институт ботаники имени А. Тахтаджяна
Национальной академии наук Республики Армения,
0040 Армения, г. Ереван, ул. Ачаряна, 1
* [✉ ninastep.gand1@gmail.com](mailto:ninastep.gand1@gmail.com)

² Институт археологии и этнографии
Национальной академии наук Республики Армения,
0025 Армения, г. Ереван, ул. Чаренца, 15
[✉ roman.hovsepyan@iae.am](mailto:roman.hovsepyan@iae.am)

Floristic novelties in the context of interdisciplinary studies

N. P. STEPANYAN-GANDILYAN^{1*}, R. A. HOVSEPYAN²

¹ Institute of Botany after A. Takhtajan,
National Academy of Sciences of the Republic of Armenia,
1 Acharyan St., Yerevan 0040, Armenia
* [✉ ninastep.gand1@gmail.com](mailto:ninastep.gand1@gmail.com)

² Institute of Archaeology and Ethnography,
National Academy of Sciences of the Republic of Armenia,
15 Charents St., Yerevan 0025, Armenia
[✉ roman.hovsepyan@iae.am](mailto:roman.hovsepyan@iae.am)

В настоящее время все большую значимость приобретают междисциплинарные исследования. К таковым относятся интегрирование ботаники с гуманитарными науками, в частности с археологией и этнографией. Примечательно, что в результате подобных работ получают новые данные не только «синтетического» плана, но и относящиеся к отдельным областям знаний, составляющим эти междисциплинарные комплексы.

Так, при проведении архео- и этноботанических исследований в Армении в 2017–2021 гг., наряду с ресурсосведческими данными, выявлением новых фитонимов и пр., были обнаружены новые местонахождения по следующим видам: *Amaranthus graecizans* L., *A. hybridus* L., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Diospyros lotus* L., *Eleocharis palustris* (L.) Roem. & Schult., *Heracleum trachyloma* Fisch. & C.A. Mey., *Humulus lupulus* L., *Hippophae rhamnoides* L., *Polygonatum orientale* Desf. и *Ranunculus lateriflorus* DC. Новые данные по фитогеографии ряда видов были получены нами при междисциплинарных исследованиях и ранее. Среди видов, по которым зафиксированы флористические новинки, – дикие родичи культурваров, эндемики, а также редкие виды, занесенные в список Международного союза охраны природы (International Union for Conservation of Nature, IUCN).

Обобщив полученные данные, можно констатировать, что архео- и этноботаника плодотворны не только по своему интердисциплинарному, «гибридному» результату, но и по тем ветвям науки, синтезом которых они являются. Это свидетельствует о высокой эффективности междисциплинарных подходов в науке и явления синергии – взаимного усиления, имеющего место при комплексных исследованиях.

Ключевые слова: фитогеография, Армения, ресурсосведение, молokane, фитонимы, дикие родичи культурваров, синергия.

Nowadays, interdisciplinary studies are increasingly important. Integration of botany with humanities, particularly with archaeology and ethnology, is amongst these studies. It is noteworthy that, as a result of such surveys, not only “synthetic” new data could be obtained, but also data in the specific fields of knowledge that compose these multidisciplinary complexes.

Thus, during the archaeo- and ethnobotanical studies in Armenia in 2017–2021, along with the data on plant resources, little-known phytonyms, etc., some new floristic data were also recorded regarding the following species: *Amaranthus graecizans* L., *A. hybridus* L., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Diospyros lotus* L., *Eleocharis palustris* (L.) Roem. & Schult., *Heracleum trachyloma* Fisch. & C.A. Mey., *Humulus lupulus* L., *Hippophae rhamnoides* L., *Polygonatum orientale* Desf., and *Ranunculus lateriflorus* DC. Earlier, we also procured new data on the phytogeography for such species as *Crataegus × armena* Pojark., *Ephedra procera* Fisch. & C.A. Mey., *Erodium ciconium* (L.) L'Hér., *Leonurus cardiaca* L., *Leucanthemum vulgare* L., *Matricaria matricarioides* (Less.) Porter ex Britt., *Neslia paniculata* (L.) Desv., *Origanum vulgare* L., *Salvia nemorosa* L., *Thymus eriophorus* Ronn., *Th. transcaasicus* Ronn., *Tripleurospermum caucasicum* (Willd.) Hayek, and *T. parviflorum* (Willd.) Pobed.

Among the species, for which phytogeographic and floristic novelties were recorded, are crop wild relatives, endemics, and rare species, included in the IUCN list.

Summarizing the findings, it can be stated that archaeo- and ethnobotany are productive not only in their interdisciplinary, “hybrid” results but also in the disciplines they both synthesize. This is the evidence that interdisciplinary approaches are highly efficient for research, demonstrating a mutually enhanced, i.e., synergistic effect in complex studies.

Key words: phytogeography, Armenia, economic botany, Molokans, phytonyms, crop wild relatives, synergy.

Введение

В настоящее время все большую значимость приобретают междисциплинарные исследования. Уже более полувека назад А. Л. Тахтаджян подчеркивал важность таких подходов – так, в связи с биосистематикой он указывал, что она «...представляет собой скорее сложный междисциплинарный комплекс, чем отдельную научную дисциплину – явление очень характерное для современного этапа развития науки» (Takhtajan, 1970, p. 337). Позже, говоря о создании универсальной науки, он отмечал: «Как показывает история науки, главный путь к интеграции лежит через возникновение “междисциплинарных дисциплин”, перебрасывающих мосты между традиционными специальностями...» (Takhtajan, 2007, p. 212).

Известно, что к проявлениям такой интеграции относится синтез ботанической географии и флористики с некоторыми гуманитарными науками, в частности с этнографией и археологией. Практика проведения таких междисциплинарных исследований показывает, что полученные новые данные бывают не только «синтетического» плана, то есть, этно- и археоботанические, но и относящиеся к отдельным областям знаний, составляющим эти междисциплинарные комплексы. Так, при проведении этно- и археоботанических исследований получены некоторые новые сведения по составу флоры исследуемых регионов, высотной приуроченности видов и пр.

Примечательно, что междисциплинарные исследования позволяют пополнить информацию о географическом распространении таких таксонов, которые при

сугубо ботанических работах оказываются обойденными вниманием коллекторов. Так, хорошо изученные и широко представленные во флоре данного региона виды на практике относительно редко собираются при флористических исследованиях вследствие кажущейся полноты информации по ним и очевидности предполагаемых результатов. В противоположность этому, при проведении этно- и археоботанических исследований зачастую именно такие «тривиальные» виды или роды (как, например, *Amaranthus* L., *Malva* L. и пр.) оказываются в фокусе внимания, поскольку многие из них имеют или имели в историческом прошлом ресурсоведческое значение.

Новые данные зачастую касаются также местных названий рассматриваемых видов, поскольку параллельно со сбором растительных образцов и информации по их ресурсоведческой ценности этноботанические исследования предполагают также тщательное фиксирование традиционных названий растений. Таким образом удается получить оригинальные данные по фитонимике.

В настоящей статье представлены новые данные по видам, относящимся к семействам: *Amaranthaceae*, *Ariaceae*, *Cannabiaceae*, *Convallariaceae*, *Cyperaceae*, *Ebenaceae*, *Elaeagnaceae*, *Onargaceae* и *Ranunculaceae*.

Материалы и методы

Гербарный материал по обсуждаемым в настоящей статье видам (таблица) был получен в ходе этноботанических и археоботанических экспедиций, проведенных в Армении в 2017–2021 гг.

Таблица. Список видов и контекст исследования

Table. The list of species and the context of the study

Виды (лат.) / Species (Latin names)	Виды (рус.) / Species (Russian names)	Контекст изучения / Context of the study
<i>Amaranthus graecizans</i> L.	Щирица маскированная	этноботанический / ethnobotanical
<i>A. hybridus</i> L.	Щ. метельчатая	этноботанический / ethnobotanical
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	Хаменерион узколистный	археоботанический / archaeobotanical
<i>Diospyros lotus</i> L.	Хурма кавказская	этноботанический / ethnobotanical
<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem. & Schult.	Ситняг болотный	археоботанический / archaeobotanical
<i>Heraclеum trachyloma</i> Fisch. & C.A. Mey.	Борщевик шероховато-окаймленный	этноботанический / ethnobotanical
<i>Humulus lupulus</i> L.	Хмель обыкновенный	этноботанический / ethnobotanical
<i>Hippophae rhamnoides</i> L.	Облепиха крушиновидная	этноботанический / ethnobotanical
<i>Polygonatum orientale</i> Desf.	Купена восточная	этноботанический / ethnobotanical
<i>Ranunculus lateriflorus</i> DC.	Лютик бокоцветковый	археоботанический / archaeobotanical

Этноботанические экспедиции осуществлялись с целью исследования традиций природопользования и других аспектов взаимодействия «человек – растение». При этом изучались традиции как местного (армянского) населения, так и национальных меньшинств (молокан, езидов), проживающих в различных регионах Республики Армения (РА). Для получения этноботанических материалов использовались опросники, проводились глубинные интервью, осуществлялся сбор растительного сырья, указанного информантами *in situ*, а также сбор предоставленных информантами образцов. Флористические сборы проводились для уточнения систематической принадлежности видов, о которых в ходе полевых работ была получена информация как об имеющих ресурсоведческое и иное значение. Стационарные наблюдения, опросы и гербарные сборы проводились в следующих административных областях: Сюник в 2017–2020 гг., Арагацотн и Вайоц Дзор в 2019 г., Лори в 2020–2021 гг. В процессе полевых этноботанических исследований мы руководствовались работами The Code of Ethics of the International Society of Ethnobiology (ISE Code of Ethics..., 2006), M. Nesbitt (2014), Bartis et al. (2016) и др.

Археоботанические экспедиции проводились в области Арагацотн на южном склоне г. Арагац. Целью экспедиций было выяснение природного контекста «вишапарков» (каменные менгиры, «vishapaqars», «dragon-stones»), обнаруженных в урочище Кармир Сар. Для этого осуществлялась по возможности более полная инвентаризация флоры территории данного памятника и определение естественного растительного покрова, что делается обычно для сравнения и интерпретации растительных остатков, обнаруженных в культурных отложениях исследуемого археологического памятника (Hovsepyan, 2017, 2021). Гербарный материал для археоботанических исследований собирался в ходе маршрутных и стационарных полевых работ в 2019 г., данные сопоставлялись с материалами, полученными здесь при экспедициях в 2014 г.

Определение собранного гербарного материала и предоставленных информантами образцов производилось с применением сравнительно-морфологического метода. При этом использовались данные, обобщенные во «Флоре Армении» и других публикациях по флоре исследуемого региона. Материалы сопоставлялись с гербарными образцами, хранящимися в гербарии ERE (Гербарий Отдела систематики и географии растений Института ботаники НАН Армении, г. Ереван). Номенклатура и статус таксонов уточнены по IPNI (<https://www.ipni.org>).

Результаты и обсуждение

Ниже приводим информацию по видам, относительно мест произрастания которых получены новые флористические данные, а также подтверждены сделанные много ранее (более 40 лет назад) единичные сборы. Для некоторых видов кратко указываются новые данные по их ресурсоведческой ценности и представлены неизвестные ранее или малоизвестные народные фитонимы.

По всем обсуждаемым видам приводятся полные этикетки сборов и фотографии, сделанные *in situ*.

1. Щирица маскированная (рис. 1).

Amaranthus graecizans L. Vayots Dzor District, v. Arin, rural in garden, N 39°43'48", E 045°29'11", h – 1585 m a. s. l., Leg. 2019.11.02, N. Stepanyan-Gandilyan, R. Hovsepyan, Det. 2019.12.05, M. Sargsyan, ERE 198545.

В обработке семейства Amaranthaceae во «Флоре Армении» В. Е. Аветисян (Avetisyan, 1956) приводит *A. graecizans* для Дарелегисского флористического района. С. Я. Золотницкая указывает произрастание вида также «...близ Еревана» (Zolotnitskaya, 1965, p. 19), однако в коллекции ERE до настоящего времени хранился лишь один гербарный сбор щирицы маскированной, осуществленный в 1933 г. в Дарелегисском районе (сбор А. Тахтаджя-



Рис. 1. *Amaranthus graecizans* L. – Щирица маскированная

Fig. 1. *Amaranthus graecizans* L. – Mediterranean amaranth

на выше с. Орткенд – совр. назв. Гладзор). В дальнейшем вид на территории республики не собирался, что ставило под сомнение его произрастание. Данная находка подтверждает произрастание *A. graecizans* в Армении.

Ранее некоторые авторы (Grossheim, 1952; Zolotnitskaia, 1965) указывали на пищевую и лекарственную ценность данного вида. В ходе наших полевых исследований в области Вайоц Дзор была получена новая информация по использованию *A. graecizans* в качестве дикорастущего овощного. Так, его свежие побеги отваривают, а затем жарят с яйцом (иногда добавляя пассерованный лук).

2. Щирица метельчатая (рис. 2).



Рис. 2. *Amaranthus hybridus* L. – Щирица метельчатая

Fig. 2. *Amaranthus hybridus* L. – smooth amaranth

Amaranthus hybridus L. Vayots Dzor District, v. Her-her, ruderal in garden, N 33°46'30", E 045°32'20", h – 1684 m a. s. l., Leg. 2019.11.02, N. Stepanyan-Gandilyan, R. Hovsepyan, Det. 2019.12.05, N. Stepanyan-Gandilyan, ERE 198546.

В литературе (Avetisyan, 1956) указывается произрастание *A. hybridus* в Лорийском флористическом районе. В последующие годы гербарий ERE был пополнен сборами этого вида из Ереванского и Севанского флористических районов. В области Вайоц Дзор *A. hybridus* собирался лишь однажды – в 1982 г., Н. Ханджян, окрестности с. Арени, – и, насколько нам известно, данная находка не нашла отражение в литературе. В ходе этноботанических исследований *A. hybridus* был собран в с. Гергер, что определено указывает на произрастание вида в южной части Армении – в Дарелегисском флористическом районе.

Ранее в ресурсоведческой литературе по Армении щирица метельчатая не фигурировала (Grossheim, 1952; Tsaturyan, Gevorgyan, 2007; etc.). Между тем приводится использование вида в различных районах современной Турции и в Ливане (Núñez et al., 2012; etc.). Благодаря проведенным в 2019 г. экспедициям получена информация об использовании *A. hybridus* в РА. Так, в селе Гергер Вай-

оцдорской области растение широко применяется в качестве пищевого – как и предыдущий вид, его используют отваренным или прожаривают с луком и яйцом.

Интерес представляет также зафиксированное народное название этого вида – «мжндрук» («məzhəndruk»). Этот фитоним нам довелось встретить в литературе лишь однажды – в работе И. С. Мелкумян (Melkumyan, 1991), где он приводится в качестве одного из народных названий другого, более распространенного вида семейства Amaranthaceae – *Amaranthus retroflexus* L. Данное название отсутствует в известной нам справочной литературе по местным названиям растений и их использованию (Bedevian, 1936; Ghazaryan, 1981; Marjanyan, 2008; etc.).

3. Хаменерион узколистный, или иван-чай (рис. 3).

Chamaenerion angustifolium (L.) Scop. Aragatsotn District, near S peak of Mount Aragats, Karmir Sar site, the north part, stony slopes, N 40°25'31", E 044°09'10", h – 2877 m a. s. l., Leg. 2019.08.10, N. Stepanyan-Gandilyan, R. Hovsepyan, Det. 2019.11.21, N. Stepanyan-Gandilyan, ERE 198595.

В обработке Onagraceae указывается произрастание иван-чая в Армении «до субальпийской полосы» (Avetisyan, 1973, p. 153). В ходе археоботанического исследования вид собран в альпийском поясе.

4. Хурма кавказская (рис. 4).

Diospyros lotus L. Syunik District, v. Nerqin Hand, near the road; N 39°03'22", E 046°31'13", h – 716 m a. s. l., Leg. 2018.09.26, N. Stepanyan-Gandilyan; Det. 2018.11.15, N. Stepanyan-Gandilyan, ERE 198618.

В обработке Ebenaceae (Mulkijanyan, 1973a) автор приводит *D. lotus* для Иджеванского и Ереванского флористических районов. В гербарии ERE присутствуют также сборы из Мегри. В ходе этноботанической экспедиции зафиксирован новый флористический район произрастания вида – Зангезурский.



Рис. 3. *Chamaenerion angustifolium* L. – Хаменерион узколистый
Fig. 3. *Chamaenerion angustifolium* L. – fireweed



Рис. 4. *Diospyros lotus* L. – Хурма восточная
Fig. 4. *Diospyros lotus* L. – Caucasian persimmon

Данный вид – единственный представитель семейства Ebenaceae, естественно произрастающий в Армении. Этноботаническое изучение показало использование дикорастущего *D. lotus* в Сюникской области в качестве пищевого – в сыром виде, для приготовления компотов и пр.

Хурма кавказская – редкий вид для Армении, приводимый в региональной Красной книге (Tamanyan et al., 2010) в статусе NT. Вид занесен в список IUCN (International Union for Conservation of Nature) в статусе LC (Unspecified).

D. lotus является также диким родичем культурной хурмы *D. kaki* L. (Ghandilyan, 1991; Ghandilyan et al., 2000; Gabrielian, Zohary, 2004).

5. Ситняг болотный (рис. 5).



Рис. 5. *Eleocharis palustris* (L.) Roem. & Schult. – Ситняг болотный

Fig. 5. *Eleocharis palustris* (L.) Roem. & Schult. – marsh spike-rush

Eleocharis palustris (L.) Roem. & Schult. Aragatsotn District, near the S peak of mount Aragats, Karmir Sar site, not far from the tents of Yezidis, ponds, overgrazed grass, N 40°25'28", E 044°08'50", h – 2860 m a. s. l., Leg. 2019.08.10, N. Stepanyan-Gandilyan, R. Hovsepyan, Det. 2020.01.13, N. Stepanyan-Gandilyan, ERE 198509.

Ранее произрастание *E. palustris* приводилось Н. С. Ханджян для высот 800–2200 м н. у. м. (Khanjyan, 2001). В ходе археоботанических работ ситняг болотный, наряду с другими представителями семейства Сурегасеае, был собран в альпийском горном поясе – на высоте более 2800 м н. у. м.

E. palustris в статусе LC (Unknown) числится в списке IUCN.

6. Борщевик шероховатоокаймленный, или Борщевик шероховато-окаймленный (рис. 6).

Heraclеum trachyloma Fisch. & C.A. Mey. Lori District, v. Lermontovo, ruderal, N 40°45'20", E 044°38'14", h – 1816 m a. s. l., Leg. 2020.09.12, N. Stepanyan-Gandilyan, R. Hovsepyan, Det. 2020.11.17, N. Stepanyan-Gandilyan, ERE 198584.

В обработке Ариасеае И. П. Манденова приводит *H. trachyloma* для следующих флористических районов:

«В. Ахур, Апар., Севан, Ерев., Дар., Занг.» (Mandeno, 1973, p. 415). В гербарии ERE есть также единственный сбор из Иджеванского флористического района, сделанный в 1974 г. (Ахвердов, окрестности с. Красносельск, ранее, по-видимому, не публиковался). Настоящими сборами подтверждается произрастание *H. trachyloma* в Иджеванском флористическом районе.

В ходе этноботанических экспедиций установлено, что русские молокане, проживающие в селах Лермонтово и Фиолетово, используют данный вид борщевика в качестве лекарственного растения – так, отвар семян применяют при кашле, бронхите, воспалении легких. Данный вид используется местным населением и в качестве пищевого – молодые стебли едят сырыми (непосредственно в поле), используют для приготовления солений и пр. Кроме того, местные жители подчеркивают его высокую

ценность в качестве кормового растения (Hovsepyan, Stepanyan-Gandilyan, 2021).

Помимо различных способов практического применения *H. trachyloma* интерес представляет также традиционно используемое в молоканской общине и зафиксированное в результате последних исследований народное название вида – «борчевки» (наряду с фитонимом «блдрган», «bældærghan», перенятым у армянского населения). Во многих источниках (Konovalova, 2000; etc.) встречается близкое/однокоренное, но все же отличное название «борщевик». Что касается фитонима «борчевки», то он не приводится в областных, диалектных, толковых и других словарях русского языка (Vasmer, 1986-1987; Piskunova et al., 2002; etc.).

В этой связи необходимо отметить, что на территории сел Лермонтово и Фиолетово молокане обосновались начиная с середины XIX века и проживают здесь около двух веков, сохраняя многие традиции природопользования, существовавшие на их российской родине (Hovsepyan, Stepanyan-Gandilyan, 2021). Исходя из этого, можно выдвинуть предположение, что здесь, как в «рефугиуме», сохранились не только обычаи, связанные с использованием растений, но и некоторые ставшие



Рис. 6. *Heracleum trachyloma* Fisch. & С.А. Мей. – Борщевик шероховато-окаймленный

Fig. 6. *Heracleum trachyloma* Fisch. & С.А. Мей. – downy cow parsnip

редкими или вовсе вышедшие из употребления в России архаичные названия растений. По-видимому, именно таковым и является название «борчевки». Всего в селах Фиолетово и Лермонтово нами зафиксировано около десяти подобных фитонимов.

H. trachyloma является эндемиком региона – Талыш, Армения, северо-восточная Анатолия.

Вид занесен в список IUCN в статусе LC (Stable).

7. Хмель обыкновенный (рис. 7).

Humulus lupulus L. Syuniq District, v. Tatev, house yard, weed, N 39°23'06", E 046°14'32", h – 1605 m a. s. l., Leg. 2018.06.17, R. Novsepyan, Det. 2018.07.06, R. Novsepyan, N. Stepanyan-Gandilyan, ERE 198507.

Lori District, vicinity of v. Fioletovo, near the main road to Dilijan, N 40°43'11", E 044°43'41", h – 1704 m a. s. l.; Leg. 2020.09.13, R. Novsepyan, Det. 2020.11.05, R. Novsepyan, N. Stepanyan-Gandilyan, ERE 198506.

А. С. Шхиян во «Флоре Армении» (Schchian, 1962) и другие авторы (Gabrielian, Zohary, 2004) указывают произрастание *H. lupulus* в Армении на высоте до 1000 м н. у. м. В ходе этноботанических экспедиций вид был собран в среднем горном поясе – на высотах 1600–1700 м н. у. м.

Полевые этноботанические исследования в области Сюник показали, что в с. Татев растение изредка используют в пищу – молодые побеги отваривают, жарят, добавляя лук или яйца.



Рис. 7. *Humulus lupulus* L. – Хмель обыкновенный

Fig. 7. *Humulus lupulus* L. – common hop

Недавние этноботанические наблюдения в Тавушской области (Pieroni et al., 2021) показали, что *H. lupulus* изредка применяется здесь для приготовления закваски к тесту. Это было подтверждено и нашими исследованиями в области Лори (с. Фиолетово).

В Сюникской области было зафиксировано народное название хмеля – «ммкени» («тэтэкени»). Этот фитоним не фигурирует в известных нам словарях и другой справочной литературе по армянским названиям растений (Bedevian, 1936; Grossheim, 1952; Tsaturyan, Gevorgyan, 2014; etc.) и, по-видимому, приводится здесь впервые.

Вид является диким родичем культивара (Gabrielian, Zohary, 2004).

8. Облепиха крушиновидная (рис. 8).



Рис. 8. *Hippophae rhamnoides* L. – Облепиха крушиновидная

Fig. 8. *Hippophae rhamnoides* L. – sea-buckthorn

Hippophae rhamnoides L. Lori District, Stepanavan, along Dzoraget river, N 41°00'49,5", E 044°23'17", h – 1350 m a. s. l., Leg. 2021.06.22 R. Novsepyan, Det. 2021.06.22, R. Novsepyan, ERE 199183.

В обработке Elaeagnaceae во «Флоре Армении» Я. И. Мулкиджанян (Mulkiĵanyan, 1973b) приводит вид для ряда флористических районов Армении; в ходе последних этноботанических экспедиций дикорастущий *H. rhamnoides* был зафиксирован в новом флористическом районе – Лорийском.

H. rhamnoides является диким родичем культивара (Ghandilyan, 1991; Gabrielian, Zohary, 2004).

9. Купена восточная (рис. 9).

Polygonatum orientale Desf. Syuniq District, Near the road from Tatev to Kapan, forest; N 39°21'44", E 046°16'30", h – 1919 m a. s. l., Leg. 2017.06.24, N. Stepanyan-Gandilyan, R. Novsepyan, Det. 2017.07.24, N. Stepanyan-Gandilyan, ERE 193442.

Произрастание вида в обработке Convallariaceae (Tamanyan, 2001) приводится для нижнего и среднего горных поясов Армении на высотах 1000–1400 м н. у. м. Данная находка *P. orientale* приурочена к верхнему горному поясу. В последние десятилетия в гербарии ERE некоторые гербарные экземпляры, переопределенные

как *P. orientale*, также были получены с высот 1900–2000 м н. у. м. Таким образом, вид определенно произрастает в верхнем горном поясе.

Как показали последние этноботанические исследования (Novsepyan et al., 2019), в с. Татев и близлежащих селах купена восточная активно используется населением не только в качестве пищевого, но и лечебного растения. Так, наряду с некоторыми другими растениями, содержащими горечи, вид традиционно применяется для нормализации пищеварения.

В литературе упоминаются различные народные названия, используемые для видов *Polygonatum* Mill. в Армении, среди которых наиболее часто встречается «сндрик» («səndrik») или «синдрик» («sindrik»). Только у одного автора (Ghazaryan, 1981, p. 87) среди других

встречаем и фитоним «кррмзан» («kərməzan»). Наши полевые наблюдения показали, что в окрестностях с. Татев для *Polygonatum* sp. используется название, близкое к последнему, но и отличное от него. Встречается несколько вариантов этого фитонима: «крмзян» («kərməzyan»), «крмзан» («kərməzan»), «кермезан» («kermezan»).

Вид занесен в список IUCN в статусе LC (Stable).

10. Лютик бокоцветковый (рис. 10).

Ranunculus lateriflorus DC. Aragatsotn, Mount Aragats, near S peak, Karmir Sar site, not far from the tents of Yezidis, overgrazed area, N 40°25'20", E 044°08'50", h – 2867 m a. s. l., Leg. 2019.08.10, N. Stepanyan-Gandilyan, R. Novsepyan, Det. 2021.04.01, R. Novsepyan, ERE 199133.

В гербарии ERE относительно мало сборов *R. lateriflorus* – известно лишь несколько пунктов произрастания этого вида, разбросанных по разным флористическим районам республики; все они приурочены к влажным местообитаниям. Тахтаджян во «Флоре Армении» указывает произрастание *R. lateriflorus* в районах: «Шир., Севан, Занг.» (Takhtajan, 1954, p. 205). Гербарными образцами нашло подтверждение произрастание вида лишь в одном из указанных флористических районов – Севанском. Позже *R. lateriflorus* был собран с Ге-



Рис. 9. *Polygonatum orientale* Desf. – Купена восточная
Fig. 9. *Polygonatum orientale* Desf. – oriental Solomon's seal



Рис. 10. Один из каменных «вишапов» в урочище Кармир Сар, у основания которого произрастает *Ranunculus lateriflorus* DC. – Лютик бокоцветковый

Fig. 10. One of the “dragon-stones” in the tract called Karmir Sar, at the bottom of which *Ranunculus lateriflorus* DC. (lateral-flowered buttercup grows)

гамских гор и в Дарелегисе (Barseghyan, 1981; Manakyan, 1982), а также в Верхне-Ахурянском флористическом районе. В ходе последних археоботанических исследований произрастание лютика бокоцветкового зафиксировано в новом флористическом районе – Арагацком.

Новинкой является и высотная приуроченность вида – ранее *R. lateriflorus* приводился для среднего горного пояса Армении (Takhtajan, 1954), затем собирался в субальпах (гербарий ERE), настоящий же сбор произведен в альпийском горном поясе.

Вид фигурирует в списке IUCN в статусе LC (Stable).

Заключение

В ходе последних архе- и этноботанических экспедиций были получены флористические новинки и новые (или малоизвестные) фитонимы по десяти видам, относящимся к следующим семействам: Amaranthaceae, Apiaceae, Cannabiaceae, Convallariaceae, Superaceae, Ebenaceae, Elaeagnaceae, Onagraceae и Ranunculaceae.

Для обобщения приведем также список видов, относительно которых флористические и иные новинки были получены при междисциплинарных исследованиях ранее (Stepanyan-Gandilyan, 2016, 2017, 2019). Это 13 видов флоры Армении, относящиеся к семействам Asteraceae, Brassicaceae, Ephedraceae, Geraniaceae, Lamiaceae, Rosaceae, в числе которых как широко распространенные, так и эндемичные виды: *Crataegus × armena* Pokrjark (эндемик Армянского нагорья), *Ephedra procera* Fisch. & C.A. Mey., *Erodium ciconium* (L.) L'Hér., *Leonurus cardiac L.*, *Leucanthemum vulgare* L., *Matricaria matricarioides* (Less.) Porter ex Britt., *Neslia paniculata* (L.) Desv., *Origanum vulgare* L., *Salvia nemorosa* L., *Thymus eriophorus* Ronn. (эндемик Армянского нагорья), *Th. transcausicus* Ronn. (эндемик Армянского нагорья), *Tripleurospermum caucasicum* (Willd.) Hayek и *T. parviflorum* (Willd.) Pobed.

Суммируя новые результаты с полученными ранее, можно констатировать, что за несколько лет проводимых в Армении архе- и этноботанических работ (2014–2021 гг.) были получены материалы по флористике и ботанической географии 23 видов, относящихся к 14 семействам сосудистых растений, среди которых – эндемики, дикие родичи культиваров, а также виды, занесенные в список IUCN.

Эти новинки сугубо ботанического порядка, полученные наряду с основными, комплексными результатами, наталкивают на мысль, что при междисциплинарных исследованиях имеет место эффект взаимного усиления, или синергии. Под синергией, или синергизмом (греч. «синергизм» – сотрудничество, содружество), многие авторы (Volkova, Denisova, 2015; etc.) понимают явление, когда общий результат функционирования системы превышает сумму результатов функционирования ее отдельных составляющих. Археология, этнография и ботаника как науки по сути являются такими системами, суммирование которых дает синергический эффект.

Обобщая, можно сказать, что этно- и археоботанические исследования плодотворны как по своему интердисциплинарному, «гибридному» результату, так и по тем научным направлениям, синтезом которых они являются (гуманитарным и биологическим). Вся совокупность представленных фактов указывает на синергию и, следовательно, высокую эффективность междисциплинарных подходов в науке.

Исследования выполнены при поддержке фондов:

Комитет по науке Республики Армения (Использование природных растительных ресурсов в Сюнике (Армения): традиции, современные тенденции и перспективы. SC 20TTSH-053);

Армянский национальный научно-образовательный фонд (Природные условия «вишапов» по материалам из урочища Кармир Сар (гора Арагац). ANSEF arch-5106).

Авторы выражают также признательность сотрудникам Института Ботаники НАН Республики Армения и редакторам за просмотр рукописи и ценные замечания.

The study was funded by the following agencies: the Committee of Science of Armenia (Exploitation of natural vegetal resources in Syunik (Armenia): traditions, modern trends and perspectives. SC 20TTSH-053);

the Armenian National Science and Education Fund (Natural environment of “dragon-stones” according to the materials from the Karmir Sar site (Mt. Aragats). ANSEF arch-5106).

The authors would like to express their appreciation to the staff of the Institute of Botany (Armenia) and to all reviewers of the manuscript for their valuable comments.

References / Литература

- Avetisyan E.M. Amaranthaceae. In: A.L. Takhtajan (ed.). *Flora of Armenia*. Vol. 2. Yerevan; 1956. p.216-222. [in Russian] (Аветисян Е.М. Amaranthaceae. В кн.: *Флора Армении*. Т. 2 / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Ереван; 1956. С.216-222).
- Avetisyan E.M. Onagraceae. In: A.L. Takhtajan (ed.). *Flora of Armenia*. Vol. 6. Yerevan; 1973. p.139-157. [in Russian] (Аветисян Е.М. Onagraceae. В кн.: *Флора Армении*. Т. 6 / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Ереван; 1973. С.139-157).
- Barseghyan A.M. Wetland flora of Armenia and its analysis. *Flora, Vegetation and Plant Resources of Armenia*. 1981;8:53-120. [in Russian] (Барсегян А.М. Водно-болотная флора Армении и ее анализ. *Флора, растительность и растительные ресурсы Армении*. 1981;8:53-120).
- Bartis P., Winick S.D., Groce N., Kruesi M., Shankar G. *Folklife and fieldwork: an introduction to cultural documentation*. 4th ed. Washington DC: American Folklife Center, Library of Congress, 2016. Available from: <https://www.loc.gov/folklife/fieldwork/pdf/FolklifeandFieldwork-2016forWeb.pdf> [accessed Feb. 25, 2021].
- Bedeian A.K. *Illustrated polyglottic dictionary of plant names*. Cairo: Argus and Papazian Presses; 1936.
- Gabrielian E., Zohary D. Wild relatives of food crops to Armenia and Nakhichevan. *Flora Mediterranea*. 2004;14:5-80.
- Gandilyan P.A. The gene pool of plants of Armenia. *Scientific and Technical Bulletin of the N.I. Vavilov All-Russian Research Institute of Plant Industry*. 1991;216:18-21. [in Russian] (Гандилян П.А. Генофонд растений Армении. *Научно-технический бюллетень Института растениеводства имени Н.И. Вавилова*. 1991;216:18-21).
- Gandilyan P., Avagyan A., Nazarova E. Diversity of wild relatives of cultivated plants in Armenia. *IPGRI Newsletter for Europe*. 2000;17:9.
- Ghazaryan R.S. *Dictionary of plant names in Armenian, Latin, Russian, English, French, and German*. Yerevan; 1981. [in Armenian]
- Grossheim A.A. *Plant resources of Caucasus (Rastitelnye bogatstva Kavkaza)*. Moscow: MOIP; 1952. [in Russian]

- (Гроссгейм А.А. Растительные богатства Кавказа. Москва: МОИП; 1952).
- Hovsepian R. Archaeobotanical sampling: Instructions for fieldwork. In: *Proceedings of the Institute of Archaeology and Ethnography. Vol. 2*. Yerevan: IAE; 2017. p.212-216.
- Hovsepian R. Seeds from *vishaps'* environment: Archaeobotanical findings from the high mountainous site of Karmir Sar (Tirinkatar, Mt. Aragats, Armenia). *Quaternary International*. 2021;579:19-28. DOI: 10.1016/j.quaint.2020.05.026
- Hovsepian R., Stepanyan-Gandilyan N., Stollberg Ch. Phyto-medicinal knowledge and "official" sources in Tatev (Armenia). *Ethnobiology Letters*. 2019;10(1):23-34. DOI: 10.14237/ebl.10.1.2019.1266
- Hovsepian R.A., Stepanyan-Gandilyan N.P. Use of plants in the folk medicine of the Molokans of Armenia: Preliminary data. *Etnografija*. 2021;2(12):98-117. [in Russian] (Овсепян Р.А., Степанян-Гандилян Н.П. Использование растений в народной медицине молокан Армении: предварительные данные. *Этнография*. 2021;2(12):98-117). DOI: 10.31250/2618-8600-2021-2(12)-98-117
- ISE Code of Ethics (with 2008 additions). International Society of Ethnobiology; 2006. Available from: <http://ethnobiology.net/code-of-ethics/> [accessed: Feb. 15, 2021].
- Khanjyan N.S. Сурегасеае. In: A.L. Takhtajan (ed.). *Flora of Armenia. Vol. 10*. Yerevan; 2001. p.412-529. [in Russian] (Ханджян Н.С. Сурегасеае. В кн.: *Флора Армении. Т. 10* / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Ереван; 2001. С.412-529).
- Konovalova N.I. Dictionary of Ural folk plant names (Slovar narodnykh nazvaniy rasteniy Urala). Yekaterinburg: Ural State Pedagogical University; 2000. [in Russian] (Коновалова Н.И. Словарь народных названий растений Урала. Екатеринбург: Уральский государственный педагогический университет; 2000).
- Manakyan V.A. Materials to the flora of Armenia (Materialy k flore Armenii). *Scientific Proceedings of Yerevan State University*. 1982;3:131-134. [in Russian] (Манакян В.А. Материалы к флоре Армении. *Ученые записки Ереванского государственного университета*. 1982;3:131-134).
- Mandanova I.P. Ариасеае: Heracleum. In: A.L. Takhtajan (ed.). *Flora of Armenia. Vol. 6*. Yerevan; 1973. p.411-418. [in Russian] (Манданова И.П. Ариасеае: Heracleum. В кн.: *Флора Армении. Т. 6* / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Ереван; 1973. С.411-418).
- Marjanyan K.S. "Botany or flora of Armenia" by Stepanos Sharimanyan. Yerevan: Magaghat; 2008. [in Russian] (Марджанян К.С. «Ботаника или флора Армении» Степаноса Шариманяна. Ереван: Магахат; 2008).
- Melkumyan I.S. Wild edible plants of the Ararat kettle. *Flora, Vegetation and Plant Resources of Armenia*. 1991;13:228-247. [in Russian] (Мелкумян И.С. Дикорастущие пищевые растения Араратской котловины. *Флора, растительность и растительные ресурсы Армении*. 1991;13:228-247).
- Mulkijanyan Y.I. Ebenaseae. In: A.L. Takhtajan (ed.). *Flora of Armenia. Vol. 6*. Yerevan; 1973a. p. 18-20. [in Russian] (Мулкиджанян Я.И. Ebenaseae. В кн.: *Флора Армении. Т. 6* / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Ереван; 1973a. С.18-20).
- Mulkijanyan Y.I. Elaeagnaseae. In: A.L. Takhtajan (ed.). *Flora of Armenia. Vol. 6*. Yerevan; 1973b. p.457-459. [in Russian] (Мулкиджанян Я.И. Elaeagnaseae. В кн.: *Флора Армении. Т. 6* / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Ереван; 1973b. С.457-459).
- Nesbitt M. Use of herbarium specimens in ethnobotany. In: M.J. Salick, K. Konchar, M. Nesbitt (eds). *Curating Biocultural Collections: A Handbook. Chapter 22*. Kew, Surrey: Royal Botanic Gardens; 2014. p.312-328. DOI: 10.14434/mar.v10i2.21770
- Núñez D.R., Séiquer G.M., Obón C., Ariza F.A. Plants and humans in the Near East and the Caucasus. Ancient and traditional uses of plants as food and medicine, a diachronic ethnobotanical review (in 2 vol.). Murcia Unversidad de Murcia; 2011.
- Pieroni A., Hovsepian R., Manduzai A.K. et al. Wild food plants traditionally gathered in central Armenia: archaic ingredients or future sustainable foods? *Environment, Development and Sustainability*. 2021;23(1):2358-2381. DOI: 10.1007/s10668-020-00678-1
- Piskunova S.V., Makhracheva T.V., Gubareva V.V. Dictionary of the dialects of Tambov (spiritual and material culture) (Slovar tambovskikh govorov [dukhovnaya i materialnaya kultura]). Tambov: Tambov State University; 2002. [in Russian] (Пискунова С.В., Махрачева Т.В., Губарева В.В. Словарь тамбовских говоров (духовная и материальная культура). Тамбов: Тамбовский государственный университет; 2002).
- Schchian A.S. Cannabiaceae. In: A.L. Takhtajan (ed.). *Flora of Armenia. Vol. 4*. Yerevan; 1962. p.360-365. [in Russian] (Шхиян А.С. Cannabiaceae. В кн.: *Флора Армении. Т. 4* / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Ереван; 1962. С.360-365).
- Stepanyan-Gandilyan N.P. Floristic novelties for Anthemideae Cass. tribe (Asteraceae) in Armenian flora. *Takhtajania*. 2019;5:20-26 [in Russian] (Степанян-Гандилян Н.П. Флористические новинки к трибе Anthemideae Cass. (Asteraceae) флоры Армении. *Тахтаджяния*. 2019;5:20-26).
- Stepanyan-Gandilyan N.P. New data on some families of the Armenian flora. *Takhtajania*. 2016;3:138-141. [in Russian] (Степанян-Гандилян Н.П. Новые данные к некоторым семействам флоры Армении. *Тахтаджяния*. 2016;3:138-141).
- Stepanyan-Gandilyan N.P. New data on the geographical distribution of some species of the Armenian flora. *Reports of National Academy of Sciences of Armenia*. 2017;117(3):273-278. [in Russian] (Степанян-Гандилян Н.П. Новые данные к географическому распространению ряда видов флоры Армении. *Доклады Национальной академии наук Республики Армения*. 2017;117(3):273-278).
- Takhtajan A.L. Biosystematics: Past, present and future (Biosistematika: Proshloye, nastoyashcheye i budushcheye). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1970;55(3):331-344. [in Russian] (Тахтаджян А.Л. Биосистематика: Прошлое, настоящее и будущее. *Ботанический журнал*. 1970;55(3):331-344).
- Takhtajan A.L. Ranunculaceae. In: A.L. Takhtajan (ed.). *Flora of Armenia. Vol. 1*. Yerevan; 1954. p.120-223. [in Russian] (Тахтаджян А.Л. Ranunculaceae. В кн.: *Флора Армении. Т. 1* / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Ереван; 1954. С.120-223).
- Takhtajan A.L. Towards the universal evolutionary science (Na puti k universalnoy evolyutsionnoy nauke). In: *Facets of evolution: Articles on the theory of evolution (Grani evolyutsii: Statyi po teorii evolyutsii)*. St. Petersburg: Nauka; 2007. p.209-285. [in Russian] (Тахтаджян А.Л. На пути к универсальной эволюционной науке. В кн.: *Грани эволюции: Статьи по теории эволюции*. Санкт-Петербург: Наука; 2007. С.209-285).

- Tamanyan K.G. Convallariaceae. In: A.L. Takhtajan (ed.). *Flora of Armenia. Vol. 10*. Yerevan; 2001. p.360-370. [in Russian] (Таманян К.Т. Convallariaceae В кн.: *Флора Армении. Т. 10* / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Ереван; 2001. С.360-370).
- Tamanyan K., Fayvush G., Ghukasyan A., Khandjyan N., Oganessian M., Arevshatyan I., Gabrielyan E., Hakobyan Zh., Nanagyulyan S., Nersesyan A., Vardanyan Zh. The Red Book of plants of the Republic of Armenia. Higher plants and fungi. 2nd ed. Yerevan: Zangak-97; 2010.
- Tsaturyan T.G., Gevorgyan M.L. Wild edible plants of Armenia. Yerevan: Armenian Academy of Sciences; 2007. [in Armenian]
- Tsaturyan T.G., Gevorgyan M.L. Wild medicinal plants of Armenia. Yerevan: Armenian Academy of Sciences; 2014. [in Armenian]
- Vasmer M. Ethymological dictionary of the Russian language: in 4 vol. (Etimologicheskiy slovar russkogo yazyka: V 4-kh t.). Moscow: Progress; 1986-1987. [in Russian] (Фасмер М. Этимологический словарь русского языка: В 4-х т. Москва: Прогресс. 1986-1987).
- Volkova V.N., Denisova A.A. Theory of systems and systems analysis (Teoriya system i sistemnogo analiza). Rybinsk: Yurayt; 2015. [in Russian] (Волкова В.Н., Денисова А.А. Теория систем и системного анализа. Рыбинск: Юрайт; 2015).
- Zolotnitskaya S.J. Medicinal resources of the flora of Armenia. Vol. 2. Yerevan: Academy of Sciences of the Armenian SSR; 1965. [in Russian] (Золотницкая С.Я. Лекарственные ресурсы флоры Армении. Т. 2. Ереван; Академия наук Армянской ССР; 1965).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Степанян-Гандилян Н.П., Овсепян Р.А. Флористические новинки в контексте междисциплинарных исследований. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):90-101. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-90-101

Stepanyan-Gandilyan N.P., Hovsepyan R.A. Floristic novelties in the context of interdisciplinary studies. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(4):90-101. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-90-101

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-90-101>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Stepanyan-Gandilyan N.P. <https://orcid.org/0000-0002-3651-4666>
Hovsepyan R.A. <https://orcid.org/0000-0002-7004-1145>

Номенклатурные стандарты сортов яблони селекции Свердловской селекционной станции садоводства. Часть 1

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-102-107

УДК 631.527:634.11 (470.54)

Поступление/Received: 18.01.2021

Принято/Accepted: 21.03.2021



Nomenclatural standards of apple cultivars developed at Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Part I

А. В. ШЛЯВАС^{1*}, Д. Д. ТЕЛЕЖИНСКИЙ², Л. В. БАГМЕТ¹A. V. SHLYAVAS^{1*}, D. D. TELEZHINSKIY², L. V. BAGMET¹

¹Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
✉ ann2668@yandex.ru*; l.bagmet@vir.nw.ru

¹N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
✉ ann2668@yandex.ru*; l.bagmet@vir.nw.ru

²Уральский федеральный аграрный научно-
исследовательский центр УрО РАН,
620142 Россия, г. Екатеринбург, ул. Белинского, 112, корп. А
✉ ddt77@list.ru

²Ural Federal Agricultural Research Center,
Ural Branch of the RAS,
112, bldg. A, Belinskogo Street, Yekaterinburg 620142, Russia
✉ ddt77@list.ru

Сотрудниками Всероссийского научно-исследовательского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) совместно с селекционерами Свердловской селекционной станции садоводства созданы номенклатурные стандарты 18 сортов яблони, выведенных на данной станции: 'Аксёна' (WIR-53949), 'Благая Весть' (WIR-53950), 'Данила' (WIR-53952), 'Исетское Позднее' (WIR-53953), 'Исеть Белая' (WIR-53954), 'Краса Свердловска' (WIR-53955), 'Папироянтарное' (WIR-53956), 'Первоуральская' (WIR-53957), 'Родниковая' (WIR-53958), 'Румянка Свердловская' (WIR-53959), 'Свердловчанин' (WIR-53960), 'Серебряное Копытце' (WIR-53961), 'Соковое 3' (WIR-53962), 'Таватуй' (WIR-53963), 'Уралец' (WIR-53964), 'Факел' (WIR-53965), 'Фермер' (WIR-53966), 'Экранное' (WIR-53967). Номенклатурные стандарты служат для подтверждения оригинальности сорта, его названия и должны бесспорно храниться в научной гербарной коллекции. Гербарные образцы номенклатурных стандартов оформлены в соответствии с рекомендациями Международного кодекса номенклатуры культурных растений (ICNCP), зарегистрированы в базе данных «Гербарий ВИР» и влиты в Гербарий культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR).

Ключевые слова: районированный сорт, культурная флора, *Malus domestica*, Средний Урал, Гербарий культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR).

Researchers of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) and Sverdlovsk Horticultural Breeding Station developed nomenclatural standards for 18 apple cultivars released at the said station: 'Aksyona' (WIR-53949), 'Blagaya Vest' (WIR-53950), 'Danila' (WIR-53952), 'Isetskoye Pozdneye' (WIR-53953), 'Iset Belaya' (WIR-53954), 'Krasa Sverdlovskaya' (WIR-53955), 'Papiroyantarnoye' (WIR-53956), 'Pervouralskaya' (WIR-53957), 'Rodnikovaya' (WIR-53958), 'Rumyanka Sverdlovskaya' (WIR-53959), 'Sverdlovchanin' (WIR-53960), 'Serebryanoye Kopytse' (WIR-53961), 'Sokovoye 3' (WIR-53962), 'Tavatuy' (WIR-53963), 'Uralets' (WIR-53964), 'Fakel' (WIR-53965), 'Fermer' (WIR-53966), and 'Ekrannoye' (WIR-53967). Nomenclatural standards serve to confirm the authenticity of a cultivar and its name. They should be kept perpetually in the scientific herbarium collection. Herbarium specimens of nomenclatural standards are formatted in accordance with the recommendations of the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants (ICNCP), registered in the VIR Herbarium Database and included in the Herbarium of Cultivated Plants of the World, Their Wild Relatives, and Weeds (WIR).

Key words: commercialized cultivar, cultivated flora, *Malus domestica*, Middle Urals, Herbarium of Cultivated Plants of the World, Their Wild Relatives, and Weeds (WIR).

Введение

В задачи Свердловской селекционной станции садоводства с момента ее образования в 1935 г. входило продвижение промышленного садоводства на Урал. К концу 1940-х гг. сотрудниками станции было проведено районирование Уральского региона, составлена карта зон плодового садоводства Свердловской области и первый сортимент плодовых и ягодных культур. Одной из основных культур станции с начала ее существования и по сегодняшний день является яблоня (*Malus domestica* Borkh.). Первые посадки яблони для научных исследований были заложены в 1937 г. К 1959 г. селекционером станции

П. А. Диброва было выведено 14 сортов яблони. Наибольшее распространение в производстве получили сорта 'Уралец', 'Самоцвет', 'Янтарь', 'Персиковое', 'Анис Пурпурный', 'Радуга', 'Кизер Летний', 'Заря'. Все они отличались высокой урожайностью и хорошими вкусовыми качествами (Bogdanova et al., 2010; Slepneva, Shlyavas, 2021). Селекционная работа ведется в направлении создания высокозимостойких сортов с полевой устойчивостью к болезням и вредителям. На сегодняшний день селекционерами станции (Порфирий Афанасьевич Диброва, Леонид Андриянович Котов, Лидия Георгиевна Венгерова, Татьяна Афанасьевна Макарова) создано более 60 сортов яблони. С 1985 г. по настоящее время в государственное сор-

тоиспытание передано 27 сортов яблони нового поколения, сочетающие высокую зимостойкость с продуктивностью и крупноплодностью. На сегодняшний день гибридный фонд яблони Свердловской селекционной станции садоводства насчитывает около 36 тыс. растений (Telezhinskiy et al., 2020).

В современных условиях для подтверждения оригинальности сорта как селекционного достижения все большее значение приобретает понятие номенклатурного стандарта. Номенклатурным стандартом считается отдельный субъект, предпочтительно гербарный образец, к которому постоянно прикрепляется название сорта или группы (Brickell et al., 2016). Гербарный материал передается в гербарную коллекцию автором сорта или официальным представителем учреждения, где был вы-

веден сорт (экспертом). Работа по созданию фонда номенклатурных стандартов сортов отечественной селекции проводится во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) совместно с российскими селекционерами (Klimenko et al., 2020; Bagmet, Shlyavas, 2021).

Материалы и методы

Материалом для оформления номенклатурных стандартов послужили гербарные образцы 18 сортов яблони домашней, 14 из которых включены в Госреестр, 4 находятся на госсортоиспытании (таблица). Все сорта, которые использованы в работе, имеют авторские свидетельства. На сегодняшний день станция является патентооб-

Таблица. Сорта яблони для создания номенклатурных стандартов и их статус в Государственном реестре селекционных достижений (State Register, 2020)

Table. Apple cultivars for the development of nomenclatural standards and their status in the State Register for Selection Achievements (State Register, 2020)

Название сорта / Cultivar name	Регион, где сорт разрешен для использования / Regions where the cultivar is permitted to be used	Год включения в Госреестр селекционных достижений / Year of inclusion in the State Register for Selection Achievements	Год начала государственного сортоиспытания / Year when the state variety trials were started
Аксёна	Волго-Вятский		2014
Благая Весть	Волго-Вятский	2004	
Данила	Волго-Вятский		2011
Исетское Позднее	Волго-Вятский (Свердловская область, Республика Удмуртия), Уральский (Челябинская область)	1990	
Исеть Белая	Волго-Вятский	2004	
Краса Свердловска	Волго-Вятский (Свердловская область)	1992	
Папироянтарное	Волго-Вятский, Уральский	2002	
Первоуральская	Волго-Вятский	2004	
Родниковая	Волго-Вятский	2004	
Румянка Свердловская	Волго-Вятский	2009	
Свердловчанин	Уральский	2018	
Серебряное Копытце	Волго-Вятский, Уральский, Западно-Сибирский	1988	
Соковое 3	Волго-Вятский, Восточно-Сибирский	2002	
Таватуй	Волго-Вятский, Уральский		2019
Уралец	Волго-Вятский	1959	
Факел	Волго-Вятский		2014
Фермер	Волго-Вятский	2009	
Экранное	Волго-Вятский, Восточно-Сибирский	2002	

ладателем сортов 'Аксёна', 'Благая Весть', 'Первоуральская', 'Родниковая', 'Свердловчанин', 'Соковое 3', 'Экранное'. Гербаризация проводилась в структурном подразделении Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук – Свердловской селекционной станции садоводства в фазе цветения и плодоношения под руководством и при непосредственном участии эксперта – старшего научного сотрудника станции, селекционера по яблоне и груше Д. Д. Тележинского, согласно методике ВИР. (Belozor, 1989). Одновременно проводилась фотосъемка цветков и плодов. Описания морфологических и хозяйственных признаков сортов проводились в соответствии с Международным классификатором СЭВ (International COMECON list..., 1989).

Оформление номенклатурных стандартов проведено в соответствии с положениями Международного кодекса номенклатуры культурных растений (ICNCP) (Brickell et al., 2016). На гербарной этикетке указаны: гербарный номер образца в Гербарии ВИР, латинское название вида, название сорта, происхождение (название организации, в которой был создан сорт), место репродукции (где выращено гербаризируемое растение), даты сбора, фамилии коллекторов. Каждый гербарный образец содержит фото плодов (авторы: А. В. Шлявас, Л. В. Багмет), цветков (при их наличии, автор: Д. Д. Тележинский) и заверен подписью эксперта (Д. Д. Тележинский), подтверждающего аутентичность представленного растения.

Результаты и обсуждение

Для создания номенклатурных стандартов в 2019 и 2020 г. проведена гербаризация сортов яблони в коллекционном саду Свердловской селекционной станции садоводства. Собран растительный материал (цветки, однолетние побеги, плоды) для 20 гербарных образцов. Однако, из-за отсутствия в период проведения работы (2019, 2020) плодоношения у сортов 'Горнист' и 'Сокол Ясный', гербарные образцы этих сортов не подошли для создания номенклатурных стандартов. Эти образцы зарегистрированы в БД «Гербарий ВИР» и влиты в Основной фонд гербарной коллекции ВИР. Сбор и гербаризация материала этих сортов для номенклатурных стандартов будет продолжена.

В результате созданы и переданы в типовой фонд Гербария WIR номенклатурные стандарты 18 сортов селекции Свердловской селекционной станции садоводства. Помологические описания сортов, ранее опубликованные (Kotov, 2005; Sedov, 2005, 2020; Slepneva et al., 2019; Telezhinskiy et al., 2020), уточнены, дополнены авторами и приведены в Приложении (Supplementary Materials)¹.

Malus domestica Borkh. Сорт 'Аксёна'^{®2} – cultivar 'Ak-syona'[®]. Получен от скрещивания в 1993 г. сорта 'Серебряное Копытце' с донором иммунитета к парше 22-40-67 (Rvi6). Со слов автора, сорт назван в честь Василия Матвеевича Аксёнова, председателя колхоза в окрестностях г. Серова, который активно испытывал и размножал свердловские сорта яблони. Селекционный номер: ТК 24-8/94. Авторы сорта: Л. А. Котов, Т. А. Макарова.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019

(плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский; 15.05.2020 (цветки) Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy; 15.05.2020 (flowers) D. D. Telezhinskiy (WIR-53949) (Приложение, рис. 1).

Malus domestica Borkh. Сорт 'Благая Весть'[®] – cultivar 'Blagaya Vest'[®]. Получен от скрещивания в 1984 г. донора иммунитета к парше X-2034 (Rvi6) и сорта 'Краса Свердловска'. Селекционный номер: ЗС III-6/44. Автор сорта: Л. А. Котов.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский; 15.05.2020 (цветки) Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy; 15.05.2020 (flowers) D. D. Telezhinskiy (WIR-53950) (Приложение, рис. 2).

Malus domestica Borkh. Сорт 'Данила' – cultivar 'Dani-la'. Получен от скрещивания в 1984 г. сорта 'Уральский сувенир' и донора иммунитета к парше SR 0523 (Rvi5). Селекционный номер: Р 5л/2-50. Рабочее название: ВЭМ желтый. Автор сорта: Л. А. Котов.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский; 20.05.2020 (цветки) Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy; 20.05.2020 (flowers) D. D. Telezhinskiy (WIR-53952) (Приложение, рис. 3).

Malus domestica Borkh. Сорт 'Исетское Позднее' – cultivar 'Isetskoye Pozdneye'. Сорт получен от скрещивания сортов 'Щедрая' и 'Янтарь'. Год посева семян – 1963. Селекционный номер: 71-Пе-34. Автор сорта: Л. А. Котов.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский; 15.05.2020 (цветки) Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy; 15.05.2020 (flowers) D. D. Telezhinskiy (WIR-53953) (Приложение, рис. 4).

Malus domestica Borkh. Сорт 'Исеть Белая' – cultivar 'Iset Belaya'. Получен от посева семян неизвестного происхождения в 1967 г. Селекционный номер: СКС-17-15П. Автор сорта: Л. А. Котов.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский; 15.05.2020 (цветки) Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy; 15.05.2020 (flowers) D. D. Telezhinskiy (WIR-53954) (Приложение, рис. 5).

Malus domestica Borkh. Сорт 'Краса Свердловска' – cultivar 'Krasa Sverdlovsk'. Получен от посева семян неизвестного крупноплодного сорта. Рабочее название: «Сеянец Венгеровой». Авторы сорта: П. А. Диброва, Л. Г. Венгерова, Л. А. Котов.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bag-

¹ Electronic supplementary material. The online version of this article (<https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-102-107>).

² Здесь и далее знак ® означает наличие патента на данный сорт.

met, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy (**WIR-53955**) (Приложение, рис. 6).

Malus domestica Borkh. **Сорт 'Папироянтарное' – cultivar 'Papiroyantarnoye'**. Получен от скрещивания в 1966 г. сортов 'Папировка' и 'Янтарь'. Селекционный номер: СКС-13-39. Автор сорта: Л. А. Котов.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский; 15.05.2020 (цветки) Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy; 15.05.2020 (flowers) D. D. Telezhinskiy (**WIR-53956**) (Приложение, рис. 7).

Malus domestica Borkh. **Сорт 'Первоуральская'® – cultivar 'Pervouralskaya'®**. Получен от скрещивания в 1984 г. сорта 'Персиянка' с донором иммунитета к парше ВМ 4149 (*Rvi6*). Селекционный номер: Р 5л/2-45. Автор сорта: Л. А. Котов.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский; 15.05.2020 (цветки) Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy; 15.05.2020 (flowers) D. D. Telezhinskiy (**WIR-53957**) (Приложение, рис. 8).

Malus domestica Borkh. **Сорт 'Родниковая'® – cultivar 'Rodnikovaya'®**. Получен от скрещивания в 1982 г. сорта 'Уральский Сувенир' с донором иммунитета к парше SR 0523 (*Rvi5*). Селекционный номер: Р 5л/1-99. Автор сорта: Л. А. Котов.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский; 20.05.2020 (цветки) Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy; 20.05.2020 (flowers) D. D. Telezhinskiy (**WIR-53958**) (Приложение, рис. 9).

Malus domestica Borkh. **Сорт 'Румянка Свердловская' – cultivar 'Rumyanka Sverdlovskaya'**. Получен от скрещивания сортов 'Апорт' и 'Выдубецкая Плакучая'. Год посева семян – 1973. Селекционный номер: ЕС-II-2-9. Автор сорта: Л. А. Котов.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский; 15.05.2020 (цветки) Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy; 15.05.2020 (flowers) D. D. Telezhinskiy (**WIR-53959**) (Приложение, рис. 10).

Malus domestica Borkh. **Сорт 'Свердловчанин'® – cultivar 'Sverdlovchanin'®**. Получен от опыления в 1963 г. сорта 'Янтарь' смесью пыльцы сортов 'Оранжевое', 'Самоцвет' и 'Звездочка'. Селекционный номер: Па 40-СК-83. Автор сорта: Л. А. Котов.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский; 15.05.2020 (цветки) Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy; 15.05.2020 (flowers) D. D. Telezhinskiy (**WIR-53960**) (Приложение, рис. 11).

Malus domestica Borkh. **Сорт 'Серебряное Копытце' – cultivar 'Serebryanoye Kopyttse'**. Получен от скрещивания сортов 'Снежинка' и 'Радуга'. Год посева семян – 1964. Селекционный номер: ПГС-4-19. Сорт получил свое название из-за сильного воскового налета на зеленовато-белых плодах выделенного сеянца. Автор сорта: Л. А. Котов.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский; 15.05.2020 (цветки) Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy; 15.05.2020 (flowers) D. D. Telezhinskiy (**WIR-53961**) (Приложение, рис. 12).

Malus domestica Borkh. **Сорт 'Соковое 3'® – cultivar 'Sokovoye 3'®**. Получен от скрещивания в 1973 г. сортов 'Уральское Наливное' и 'Урожайное'. Селекционный номер: Л III-30-3. Авторы сорта: Л. А. Котов, Т. А. Макарова.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy (**WIR-53962**) (Приложение, рис. 13).

Malus domestica Borkh. **Сорт 'Таватуй' – cultivar 'Tavatuuy'**. Получен от скрещивания в 1982 г. сорта 'Уральский сувенир' с донором иммунитета к парше SR 0523 (*Rvi5*). Селекционный номер: Р5л/2-83. Автор сорта: Л. А. Котов.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy (**WIR-53963**) (Приложение, рис. 14).

Malus domestica Borkh. **Сорт 'Уралец' – cultivar 'Uralets'**. Получен от опыления местного сорта 'Восковка' смесью пыльцы сортов 'Анис Розовый Полосатый' и 'Украинка Саратовская'. Год посева семян – 1941. Селекционный номер: 10-1(2,3)-41. Автор сорта: П. А. Диброва.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский; 15.05.2020 (цветки) Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy; 15.05.2020 (flowers) D. D. Telezhinskiy (**WIR-53964**) (Приложение, рис. 15).

Malus domestica Borkh. **Сорт 'Факел' – cultivar 'Fakel'**. Триплоид ($3x = 51$), получен от скрещивания в 1987 г. формы Б 5-26 и сорта 'Уэлси Тетраплоидный'. Селекционный номер: 88-9-103. Авторы сорта: Л. А. Котов, Т. А. Макарова.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский; 15.05.2020 (цветки) Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy; 15.05.2020 (flowers) D. D. Telezhinskiy (**WIR-53965**) (Приложение, рис. 16).

Malus domestica Borkh. **Сорт 'Фермер' – cultivar 'Fermer'**. Получен от скрещивания в 1973 г. сортов 'Мелба' и 'Выдубецкая Плакучая'. Селекционный номер: Е-II-7-11. Автор сорта: Л. А. Котов.

Nomenclatural standard: Екатеринбург, Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский; 15.05.2020 (цветки) Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy; 15.05.2020 (flowers) D. D. Telezhinskiy (WIR-53966) (Приложение, рис. 17).

Malus domestica Borkh. **Сорт ‘Экранное’® – cultivar ‘Ekrannoye’®**. Получен от опыления в 1963 г. сорта ‘Янтарь’ смесью пыльцы сортов ‘Оранжевое’, ‘Самоцвет’ и ‘Звездочка’. Селекционный номер: Па-40-32-76. Автор сорта: Л. А. Котов.

Nomenclatural standard: Собран: 12.09.2019 (плод, однолетний побег) Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Д. Д. Тележинский; 15.05.2020 (цветки) Д. Д. Тележинский. – Yekaterinburg, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collected: 12.09.2019 (fruit, annual shoot) L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, D. D. Telezhinskiy; 15.05.2020 (flowers) D. D. Telezhinskiy (WIR-53967) (Приложение, рис. 18).

Заключение

В результате проведенного исследования загербаризированы, оформлены, зарегистрированы в БД «Гербарий ВИР» и переданы на хранение в типовой фонд Гербария культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR) номенклатурные стандарты 18 образцов сортов яблони домашней селекции Свердловской селекционной станции садоводства: ‘Аксёна’ (WIR-53949), ‘Благая Весть’ (WIR-53950), ‘Данила’ (WIR-53952), ‘Исетское Позднее’ (WIR-53953), ‘Исеть Белая’ (WIR-53954), ‘Краса Свердловска’ (WIR-53955), ‘Папириянтранное’ (WIR-53956), ‘Первоуральская’ (WIR-53957), ‘Родниковая’ (WIR-53958), ‘Румянка Свердловская’ (WIR-53959), ‘Свердловчанин’ (WIR-53960), ‘Серебряное Копытце’ (WIR-53961), ‘Соковое 3’ (WIR-53962), ‘Таватуй’ (WIR-53963), ‘Уралец’ (WIR-53964), ‘Факел’ (WIR-53965), ‘Фермер’ (WIR-53966), ‘Экранное’ (WIR-53967).

Работа по созданию номенклатурных стандартов сортов яблони селекции станции будет продолжена.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно бюджетным проектам ВИР по теме № 0662-2020-0004 «Коллекции ВИР вегетативно размножаемых культур (картофель, плодовые, ягодные, декоративные, виноград) и их диких родичей – изучение и рациональное использование» с использованием Гербария культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR) и в рамках государственного задания ФГБНУ УрФАНИЦ УРО РАН направления 150 Программы ФНИ государственных академий наук на 2021–2030 гг.

Авторы выражают глубокую благодарность директору Свердловской селекционной станции садоводства Татьяне Николаевне Слепнёвой за организацию работы и помощь в ее проведении.

The work was done within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0004 “Collections of vegetatively propagated crops (potato, fruit, berry and ornamental crops, grapes) and their wild relatives at VIR: studying and sustainable utilization”, using the Herbarium of Cultivated Plants of the World, Their Wild Relatives, and Weeds, in the framework of the State Task for the Ural Federal Agricultural Research Center, UB RAS, under Guideline 150 of the Federal Scientific Research Program of the State Academies of Sciences for 2021–2030.

The authors express their deep gratitude to Tatyana Nikolaevna Slepneva, Director of Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, for organizing the work and helping in its implementation.

References / Литература

- Bagmet L.V., Shlyavas A.V. Nomenclatural standards of apple cultivars developed at Pavlovsk Experiment Station of VIR. *Vavilovia*. 2021;4(1):3-24. [in Russian] (Багмет Л.В., Шлявас А.В. Номенклатурные стандарты сортов яблони селекции Павловской опытной станции ВИР. *Vavilovia*. 2021;4(1):3-24). DOI: 10.30901/2658-3860-2021-1-3-24
- Belozor N.I. Herbarization of cultivated plants (Guidelines) (Gerbarizatsiya kulturnykh rasteniy [Metodicheskiye ukazaniya]). Leningrad: VIR; 1989. [in Russian] (Белозор Н.И. Гербаризация культурных растений (Методические указания). Ленинград: ВИР; 1989).
- Bogdanova I.I., Demin N.S., Nashchekina A.S. Results of the 75-year activities of Sverdlovsk Horticultural Breeding Station and prospects of development (Itogi deyatelnosti Sverdlovskoy selektsionnoy stantsii sadovodstva za 75 let i perspektivy razvitiya). In: *Scientific support of adaptive horticulture in the Urals (Nauchnoye obespecheniye adaptivnogo sadovodstva Uralskogo regiona)*. Yekaterinburg; 2010. p.4-28. [in Russian] (Богданова И.И., Демин Н.С., Нащечкина А.С. Итоги деятельности Свердловской селекционной станции садоводства за 75 лет и перспективы развития. В кн.: *Научное обеспечение адаптивного садоводства Уральского региона*. Екатеринбург; 2010. С.4-28).
- Brickell C.D., Alexander C., Cubey J.J., David J.C., Hoffman M.H.A., Leslie A.C., Malécot V., Jin X. (eds). International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. 9th ed. *Scripta Horticulturae*. 2016;18:1-190.
- Klimenko N.S., Gavrilenko T.A., Chuhina I.G., Gadzhiev N.M., Evdokimova Z.Z., Lebedeva V.A. Nomenclatural standard genetic passports of potato cultivars bred at the Leningrad Research Institute for Agriculture “Belogorka”. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(3):18-54. [in Russian] (Клименко Н.С., Гавриленко Т.А., Чухина И.Г., Гаджиев Н.М., Евдокимова З.З., Лебедева В.А. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Ленинградского НИИСХ «Белогорка». *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(3):18-54). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-3-03
- Kotov L.A. Selection of apple-tree in the Middle Ural. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2009;11(65):58-61. [in Russian] (Котов Л.А. Селекция яблони на Урале. *Аграрный вестник Урала*. 2009;11(65):58-61).
- Sedov E.N. (ed.) Pomology: In 5 volumes. Vol. 1. Apple tree (Pomologiya: V 5-ti tomakh. T. 1. Yablonya). Moscow: RAS; 2020. [in Russian] (Помология: В 5-ти томах, Т. 1. Яблоня / под ред. Е.Н. Седова. Москва: РАН; 2020).
- Sedov E.N. (ed.) Pomology: In 5 volumes. Vol. 1. Apple tree (Pomologiya: V 5-ti tomakh. T. 1. Yablonya). Orel: VNI-ISPК; 2005. [in Russian] (Помология: В 5-ти томах, Т. 1. Яблоня / под ред. Е.Н. Седова. Орел: ВНИИСПК; 2005).

- Slepneva T.N., Makarenko S.A., Chebotok E.M. (comp.). Leonid Andriyanovich Kotov. Materials for the bibliography of a leading scientist of agricultural science (on the occasion of his 90th birthday) (Kotov Leonid Andriyanovich. Materialy k bibliografii vedushchego uchenogo selskokhozyaystvennoy nauki [k 90-letiyu so dnya rozhdeniya]). Yekaterinburg: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station; 2019. [in Russian] (Котов Леонид Андриянович. Материалы к библиографии ведущего ученого сельскохозяйственной науки (к 90-летию со дня рождения) / сост. Т.А. Слепнева, С.А. Макаренко, Е.М. Чеботок. Екатеринбург: Свердловская селекционная станция садоводства; 2019).
- Slepneva T.N., Shlyavas A.V. Porfiiy Afanasyevich Dibrova: at the origins of scientific pomiculture in the Urals. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(2):163-172. [in Russian] (Слепнева Т.Н., Шлявас А.В. Порфирий Афанасьевич Диброва – у истоков научного плодородства Урала. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(2):163-172). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-163-172
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow; Rosinformagrotekh; 2020. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2020).
- International COMECON list of descriptors for the subfamily Maloideae (genera *Malus* Mill., *Pyrus* L., *Cydonia* Mill.). Leningrad; 1989. [in Russian] (Широкий унифицированный классификатор СЭВ подсемейства Maloideae родов *Malus* Mill., *Pyrus* L., *Cydonia* Mill. Ленинград; 1989).
- Telezhinskiy D.D., Kotov L.A., Makarenko S.A., Tarasova G.N. Sverdlovchanin: a new apple cultivar for the Middle Urals. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(1):93-96. [in Russian] (Тележинский Д.Д., Котов Л.А., Макаренко С.А., Тарасова Г.Н. Свердловчанин – новый сорт яблони для Среднего Урала. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(1):93-96). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-93-96

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Шлявас А.В., Тележинский Д.Д., Багмет Л.В. Номенклатурные стандарты сортов яблони селекции Свердловской селекционной станции садоводства. Часть 1. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):102-107. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-102-107

Shlyavas A.V., Telezhinskiy D.D., Bagmet L.V. Nomenclatural standards of apple cultivars developed at Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Part I. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):102-107. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-102-107

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-102-107>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Shlyavas A.V. <https://orcid.org/0000-0002-8009-6780>

Telezhinskiy D.D. <https://orcid.org/0000-0002-4783-2029>

Bagmet L.V. <https://orcid.org/0000-0003-0768-0056>

Устойчивость к вредным организмам современных сортов ячменя

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-108-116



УДК 632.4/938.1+595.773.4:633.16

Поступление/Received: 25.02.2021

Принято/Accepted: 03.06.2021

А. Г. СЕМЕНОВА^{1*}, А. В. АНИСИМОВА², О. Н. КОВАЛЕВА³

¹ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
196601 Россия, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин,
Петербургское шоссе, 2

* ✉ a.g.semenova@rambler.ru

² Общество с ограниченной ответственностью «ПиК»,
197101 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. М. Пушкарская, 22,
литер А, пом. 11-Н

✉ annaanis@mail.ru

³ Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44

✉ o.kovaleva@vir.nw.ru

Resistance of modern spring barley cultivars to harmful organisms

A. G. SEMENOVA^{1*}, A. V. ANISIMOVA², O. N. KOVALEVA³

¹ Saint-Petersburg State Agrarian University,
2 Peterburgskoye Shosse, Pushkin,
St. Petersburg 196601, Russia
* ✉ a.g.semenova@rambler.ru

² PiK Limited Liability Company,
22 (A), Suite 11-N, Malaya Pushkarskaya Street,
St. Petersburg 197101, Russia
✉ annaanis@mail.ru

³ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg, 190000, Russia
✉ o.kovaleva@vir.nw.ru

Актуальность. Болезни и вредители наносят большой вред стеблестоя и урожаю ячменя. Потери урожая от вредных организмов достигают 25–30%.

Материалы и методы. В течение 2017–2020 гг. 46 сортов ярового ячменя из коллекции ВИР, включенных в Госреестр селекционных достижений, изучили по устойчивости к шведской мухе, сетчатой и темно-бурой пятнистостям, карликовой ржавчине и мучнистой росе. Исследования проводили в полевых условиях на провокационном фоне заселения шведской мухой и на естественном инфекционном фоне к листовым патогенам.

Результаты и выводы. В 2017 г. из болезней доминировала сетчатая пятнистость. В 2018 г. в условиях эпифитотии темно-бурой пятнистости были выделены сорта со слабым развитием данной болезни. В 2019 и 2020 г. наблюдали значительное развитие карликовой ржавчины и мучнистой росы, в эти же годы была зафиксирована наибольшая вредоносность шведской мухи. Полевая оценка позволила выявить три сорта с низкой поврежденностью шведской мухой: 'Одон' (к-31118, Бурятия), 'Миар' (к-31203, Оренбургская обл.), 'Омский 99' (к-31230, Омская обл.); сорт 'Posada' (к-31245, Германия) слабо поражен шведской мухой, карликовой ржавчиной и мучнистой росой; сорта слабопоражаемые (до 5%) возбудителями мучнистой росы: 'Чираз' (к-31131, Дания), 'Cheerio' (к-31297, Дания), 'Одиссей' (к-31333, Англия) и карликовой ржавчиной: 'Чираз', 'Eifel' (к-31249, Франция), 'Ursa' (к-31339), 'Sunshine' (к-31129, Германия). Результаты многолетней оценки могут быть использованы в селекционном процессе для создания сортов с групповой и комплексной устойчивостью к вредным организмам.

Ключевые слова: рекомендованные к использованию сорта, шведская муха, мучнистая роса, листовые пятнистости, карликовая ржавчина, устойчивость.

Background. Diseases and pests cause great damage to barley stands and harvests. Harvest losses from harmful organisms reach 25–30%.

Materials and methods. During 2017–2020, 46 spring barley cultivars from the VIR collection, listed in the State Register for Selection Achievements, were studied for their resistance to fritfly, net and spot blotches, brown rust, and powdery mildew. The tests were carried out in the field with provocative colonization by fritfly and under natural infection pressure of leaf pathogens.

Results and conclusions. In 2017, net blotch predominated over other diseases. In 2018, there was an epyphytotic outburst of spot blotch, and cultivars with weak development of this disease were identified. In 2019 and 2020, the incidence of brown rust and powdery mildew was significant, and the virulence of fritfly increased greatly in the same years. Field tests resulted in identification of 3 barley accessions resistant to fritfly: 'Odon' (k-31118, Buryatia), 'Miar' (k-31203, Orenburg Province), and 'Omsky 99' (k-31230, Omsk Province). Cv. 'Posada' (k-31245, Germany) was weakly affected by fritfly, brown rust and powdery mildew. Cultivars were selected for their low susceptibility to powdery mildew (up to 5%): 'Chiraz' (k-31131, Denmark), 'Cheerio' (k-31297, Denmark), and 'Odyssey' (k-31333, England), and brown rust: 'Chiraz' (k-31131, Denmark), 'Eifel' (k-31249, France), 'Ursa' (k-31339), and 'Sunshine' (k-31129, Germany). Such long-term assessment results can be used in breeding programs to develop cultivars with group or complex resistance to harmful organisms.

Key words: commercial barley cultivars, fritfly, powdery mildew, net blotch, spot blotch, brown rust, resistance.

Введение

В народном хозяйстве ячмень находит разнообразное применение. Более 65% его зерна идет на кормовые цели; кроме того, зерно служит незаменимым сырьем в солодовой и пивоваренной промышленности, используется для выработки крупы, в северных и высокогорных районах – частично в хлебопечении. Одним из значимых факторов, определяющих уровень урожайности и качество зерна, является сорт.

Важнейшим условием создания высокопродуктивного агроценоза зерновых культур является формирование оптимальной густоты продуктивного стеблестоя, которое задается нормой высева. Несмотря на большие компенсаторные возможности ячменя по поддержанию стеблестоя благодаря высокому кущению, реализация всходов определяет основу формируемого урожая. Полевая всхожесть семян и сохранение всходов зависят от почвенно-климатических факторов, проявления вредных организмов и их взаимодействия. Большой вред стеблестоя и урожаю наносят болезни и вредители. Потери урожая от вредных организмов достигают 25–30% (Novozhilov, Zakharenko, 2000; Zakharenko, 2008).

В настоящее время ограничение численности и вредоносности вредных организмов осуществляют комплексом агротехнических приемов и использованием химических средств. Наиболее экологически безопасный метод защиты растений – это использование генетически устойчивых сортов. С одной стороны, этот метод является основой интегрированных систем защиты растений, а с другой – использование устойчивых сортов позволяет прогнозировать потери от вредных объектов и определять потребность в проведении защитных мероприятий, снижать кратность химических обработок и норму расхода препаратов, изменять сроки обработки посевов (Illarionov, Samsonov, 2010).

Установлено, что современные сорта ячменя, районированные в Российской Федерации, в большинстве своем сильно повреждаются шведской мухой (*Oscinella frit* L.) (Semenova et al., 2014). Скрытый образ жизни личинок вредителя определяет сложность организации химической борьбы. Возделывание устойчивых к шведской мухе сортов может обеспечить получение высоких урожаев ячменя даже при значительной численности вредителя.

В Северо-Западном регионе ячмень страдает от повреждения насекомыми, болезнями и от неблагоприятных экологических факторов среды. К наиболее вредоносным и экономически значимым болезням ячменя в Ленинградской области относятся: сетчатая (гриб *Pyrenophora teres f. teres* Drechsl.) и темно-бурая (*Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.) Drechsl. ex Dastur) пятнистости, карликовая ржавчина (*Puccinia hordei* G.H. Oth) и мучнистая роса (*Blumeria graminis* (DC.) Golovin ex Speer f. sp. *hordei* Em. Marchal). Эти болезни встречаются на ячмене практически ежегодно, нередко достигая эпифитотийного развития.

В последнее время вспышки эпифитотий той или иной болезни возникают с периодичностью 4-5 раз в течение 10 лет. Снижение урожайности при массовом течении болезней может достигать на восприимчивых сортах 20–50% (Illarionov, Samsonov, 2010).

Цель исследования – выявление среди современных рекомендованных к использованию сортов ярового ячменя источников с групповой и комплексной устойчивостью к вредным организмам и хозяйственно ценными признаками в Нечерноземной зоне РФ.

Материалы и методы исследований

Изучение сортов ячменя на устойчивость к вредным организмам проводили в полевых условиях на опытном поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) в течение четырех лет (2017–2020 гг.). Было оценено 46 сортов ячменя из коллекции ВИР, как включенных в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации, так и проходящих испытания в Госсорткомиссии, по устойчивости к шведской мухе, сетчатой и темно-бурая пятнистостям, карликовой ржавчине и мучнистой росе.

Сорта ярового ячменя высевали по два рядка в однократной (2017 г.) и в трехкратной повторностях (2018, 2019, 2020 г.). Через каждые 20 испытываемых сортов размещали сорта-стандарты: неустойчивый к шведской мухе сорт 'Криничный' (к-27605) и устойчивый к фитофагу сорт 'Белогорский' (к-22089). В качестве стандартов для оценки на устойчивость к болезням использовали районированные, широко возделываемые в Ленинградской области и поражаемые болезнями сорта 'Суздавец' (к-30314) и 'Ленинградский' (к-30975).

С целью повышения заселенности посевов ячменя шведской мухой использовали провокационный фон, который сориентирован на положительные поведенческие реакции шведской мухи в отношении злаковых культур. В Нечерноземной зоне имаго вредителя вылетает в III декаде мая, дополнительно питается пасокой трав примерно две недели, самки предпочитают откладывать яйца на разреженные участки посевов злаков и хорошо прогреваемые солнцем, излюбленная фаза 2-3-х листьев. Поэтому образцы ячменя высевали на три недели позже общепринятых для данной зоны сроков посева. Посев был разреженный, располагался вблизи дикорастущих злаков и озимых культур, где зимуют личинки вредителя (Chesnokov, 1956).

С целью определения устойчивости сортов к повреждению шведской мухой по признаку «усыхание центрального листа» учеты проводили трижды за сезон: 1) в начале фазы кущения (определяли процент повреждения личинками главных, наиболее продуктивных стеблей); 2) в фазу выхода в трубку (поврежденность всех стеблей); 3) в фазу колошения (продуктивную кустистость). Последний показатель положительно коррелирует с выносливостью растений к повреждению фитофагом (Zagovora et al., 1980). Следует отметить, что наши исследования, проведенные ранее, показали, что выносливость не всегда зависит от степени повреждения сорта шведской мухой. Так, мало повреждаемые сорта могут иметь низкую выносливость, например сорт 'Нутанс 553' (к-30579), и наоборот, сорта, сильно поврежденные вредителем, обладают выносливостью ('Тобол', к-30075) (Semenova, Yudin, 2018). При выделении сортов, устойчивых к шведской мухе, ориентировались на общий инвазионный фон конкретного года и поврежденность устойчивого сорта-стандарта 'Белогорский' и неустойчивого сорта-стандарта 'Криничный'. К устойчивым были отнесены сорта, у которых поврежденность главных стеблей и всех стеблей фитофагом была ниже неустойчивого сорта-стандарта 'Криничный' и с показателями, близкими к устойчивому сорту-стандарту 'Белогорский'.

Оценку ячменя на устойчивость к листовым патогенам проводили в течение четырех лет на естественном

инфекционном фоне в фазу интенсивного развития болезней «цветение – налив зерна». Из фитопатогенов, встречающихся на коллекционных делянках ячменя, доминирующими видами были: в 2017 г. – возбудитель сетчатой пятнистости, в 2018 г. – темно-бурой пятнистости и карликовой ржавчины, в 2019 и 2020 гг. – мучнистой росы и карликовой ржавчины.

Для оценки сортов ячменя на устойчивость к сетчатой, темно-бурой пятнистостям и мучнистой росе использовали шкалу Э.Э.Гешеле (Geshele, 1971, 1978), к карликовой ржавчине – R. F. Peterson (1948). Для этого в каждом рядке испытуемого образца выборочно отбирали растения и определяли степень развития присутствующих болезней на каждом ярусе отдельно.

Шкала для оценки развития (%) сетчатой и темно-бурой пятнистостей ячменя (Geshele, 1971):

0 – *иммунный* (отсутствие симптомов болезней);

5–10% – *высокоустойчивый* (единичные пятна по всему растению);

20–30% – *устойчивый* (нижний и средний ярусы листьев поражены более чем на 25%; на верхнем ярусе – единичные пятна);

40–50% – *среднеустойчивый* (нижний ярус листьев поражен более чем на 50%, листья отмирают, средний ярус – до 30% и выше, верхний – до 20%);

60–75% – *восприимчивый* (нижние листья отмирают, средний ярус поражен более чем на 50%, верхний ярус поражен до 50% и выше);

80–100% – *высоковосприимчивый* (нижний и средний ярусы листьев отмирают, верхний ярус поражен более чем на 80%).

Шкала оценки развития (%) мучнистой росы (Geshele, 1978):

0 – отсутствие болезни, растения здоровые (высокая устойчивость);

1–10% поражения – легкий налет или единичные подушечки гриба на листьях и междоузлиях нижнего яруса (устойчивость);

10–25% – умеренное число подушечек на листьях и междоузлиях нижнего яруса (средняя устойчивость);

25–50% – развитие гриба обильное, главным образом на нижних листьях; на верхних – подушечки локальные, рассеянные (восприимчивость);

свыше 50% – сильно поражены все листья и междоузлия, подушечки хорошо выражены, сливающиеся, с обильными спорами. Поражен может быть и колос (высокая восприимчивость).

Шкала для оценки развития (%) карликовой ржавчины (Peterson et al., 1948; Roelfs et al., 1992):

0 – заболевание отсутствует;

1–10% – в месте пустул образуются четко выраженные хлорозные пятна (устойчивость);

10–30% – пустулы очень мелкие, окружены хлоротичной зоной (средняя устойчивость);

40–50% – пустулы мелкие (восприимчивость);

75–100% – пустулы крупные (высокая восприимчивость).

Развитие болезни (в %) рассчитывали по формуле А. Е. Чумакова и Т. И. Захаровой (Chumakov, Zakharova, 1990):

$$R = \frac{\sum(ab)}{n4} \times 100,$$

где: а – количество больных растений;

б – соответствующий балл поражения;

п – количество растений в пробе;

4 – высший балл шкалы учета.

Погодные условия в течение четырех лет изучения сортов ячменя на устойчивость к вредным организмам существенно отличались.

В 2017 и 2018 г. длительный период высокой относительной влажности воздуха в межфазный период «выход в трубку – молочная спелость зерна» способствовал развитию сетчатой и темно-бурой пятнистостей.

В 2019 г. в мае в фазу «всходы» и в июле в межфазный период «выход в трубку – колошение» растений сложились наиболее благоприятные погодные условия для возбудителя мучнистой росы при среднесуточной температуре воздуха от +13 до +17°C и относительной влажности воздуха 70–90%.

Благоприятные условия для инфицирования растений ячменя карликовой ржавчиной в виде обильных рос и среднесуточной температуры воздуха от +15 до +18°C сложились в 2018 и 2019 г. в течение периода «молочная – начало восковой спелости зерна».

2020 г. характеризовался отсутствием снежного покрова в зимний период, большим количеством осадков в виде дождя по сравнению со средними многолетними показателями, как в первый квартал года, так и во второй половине лета. При относительно близких показателях температуры воздуха в целом к средним многолетним в Ленинградской области обращает на себя внимание более высокая температура воздуха (на 3,4°C) в июне. Такие погодные условия обеспечили высокую вредоносность шведской мухи, особенно на провокационном фоне, где посев ячменя проводили в поздние сроки. Из болезней высокого развития достигла мучнистая роса, которая стала проявляться уже в фазу кущения растений. Также на многих сортах ячменя было зафиксировано значительное развитие карликовой ржавчины.

Результаты

В 2017 г. лёт шведской мухи наблюдался в более поздние сроки, чем обычно, и был слабым. Как следствие, заселенность стеблей зерновых культур личинками была незначительной. Теплая погода зимних месяцев при слабом снежном покрове, вероятно, отрицательно сказалась на зимовке личинок шведской мухи. Неблагоприятные тенденции продолжились весной и в начале лета, когда температура воздуха была примерно на два градуса ниже нормы, а в апреле осадков выпало 277% от средних многолетних значений. Годы 2018 и 2019 оказались более благоприятными для фитофага. Устойчивый снежный покров, который образовался с середины зимы 2018 г., защитил личинок от низких температур, а высокие положительные температуры апреля – мая обеспечили дружный вылет насекомых весеннего поколения после зимовки. В 2018 г. повреждение личинками шведской мухи главных, наиболее продуктивных стеблей ячменя превышало в 2 раза, а все стебли растений были в 1,5 раза больше заселены вредителем по сравнению с 2017 г. Значительное превышение средних многолетних температур в апреле, а затем в июне 2019 г. обеспечило интенсивный лёт имаго шведской мухи и еще более сильное заселение растений ячменя вредителем, особенно в условиях провокационного фона (табл. 1).

Представленные в таблице 1 данные показывают, что личинками шведской мухи были уничтожены более половины главных стеблей у трех сортов-стандартов (исключение: сорт 'Белогорский' – 35,3%), а все стебли –

Таблица 1. Характеристика устойчивости сортов-стандартов ярового ячменя к шведской мухе и поражаемости листовыми патогенами (Пушкин, 2017–2020 гг.)**Table 1.** Resistance of the reference spring barley cultivars to fritfly and leaf pathogens (Pushkin, 2017–2020)

Год изучения	Показатель	Сорта-стандарты			
		Ленинградский (к-30975)	Суздалец (к-30314)	Белогорский (к-22089)	Криничный (к-27605)
2017	Повреждено шведской мухой главных стеблей	20,5 ± 4,3	16,5 ± 2,9	13,8 ± 5,5	17,1 ± 2,3
	Повреждено шведской мухой всех стеблей	10,4 ± 3,4	15,3 ± 2,1	10,4 ± 3,7	16,0 ± 4,6
	Развитие сетчатой пятнистости, %	5	5	0	5
	Развитие темно-бурой пятнистости, %	10	10	20	10
2018	Повреждено шведской мухой главных стеблей	23,5 ± 4,5	29,0 ± 6,5	23,1 ± 5,7	53,4 ± 6,0
	Повреждено шведской мухой всех стеблей	20,6 ± 5,1	19,5 ± 4,3	11,3 ± 2,7	27,9 ± 5,0
	Развитие темно-бурой пятнистости, %	40	30	40	40
	Развитие карликовой ржавчины, %	15	10	80	50
2019	Повреждено шведской мухой главных стеблей	70,7 ± 2,3	64,3 ± 7,1	35,3 ± 6,6	63,2 ± 9,2
	Повреждено шведской мухой всех стеблей	26,1 ± 5,9	17,4 ± 6,5	26,7 ± 3,6	32,7 ± 1,6
	Развитие мучнистой росы, %	70	50	30	15
	Развитие карликовой ржавчины, %	50	40	10	1
2020	Повреждено шведской мухой главных стеблей	36,1 ± 3,5	55,0 ± 4,7	27,5 ± 3,0	55,3 ± 5,3
	Повреждено шведской мухой всех стеблей	26,2 ± 4,2	29,9 ± 3,9	18,1 ± 4,5	31,0 ± 3,7
	Развитие мучнистой росы, %	20	40	20	5
	Развитие карликовой ржавчины, %	15	15	10	5

примерно на одну четверть. Это подтверждает высокую вредоносность насекомого в благоприятных погодных условиях, которые сложились в 2019 г.

В 2017 г. на коллекционных посевах ячменя не зарегистрировано высокого развития листовых патогенов. Среди отмеченных болезней преобладала сетчатая пятнистость. Максимальное развитие болезни (до 30–40%) наблюдали у сортов: 'Странник' (к-31134, Ставропольский край), 'Задел' (к-31176, Алтайский край), 'Казак' (к-31177, Самарская обл.), 'Beatrix' (к-31175, Германия), 'Posada' (к-31245, Германия), 'Serbinetta' (к-31270, Германия), 'Ананкин' (к-31243, Дания), 'Eifel' (к-31249, Франция).

В эпифитотийном 2018 г. были выделены сорта со слабым (до 10%) развитием темно-бурой пятнистости. Это сорта: 'Щедрый' (к-31046, Ростовская обл.), 'Оленёк' (к-31199, Красноярский край), 'Богатырь' (к-31231, Краснодарский край), 'Солист' (к-31332, Франция).

В этом же году на опытном поле ВИР на яровом ячмене была отмечена карликовая ржавчина. Развитие ржав-

чины на сортах-стандартах 'Криничный' и 'Белогорский' достигало 50–80%, 'Ленинградский' и 'Суздалец' – 10–15%. Восприимчивыми (развитие до 50–60%) к ржавчине были сорта: 'Одон' (к-31118, Бурятия), 'Вадим' (к-31121, Краснодарский край), 'Quench' (к-31241, Дания), 'J.V. Flavour' (к-31242, Германия). На фоне восприимчивых сортов выделены сорта с единичными симптомами болезни, такие как 'Щедрый' (Ростовская обл.), 'Богатырь' (Краснодарский край), 'Солист' (Франция).

После двухлетнего изучения из 46 сортов ячменя в 2019 г. было отобрано и посеяно 18 сортов, имевших наилучшие показатели по устойчивости к шведской мухе. Жесткий инвазионный фон, возникший в 2019 и 2020 г., привел к тому, что большинство изучаемых сортов оказались сильно заселенными вредителем.

Для удобства анализа результатов полученные данные были представлены относительно показателей устойчивого сорта 'Белогорский', которые принимали за 1. В представленной диаграмме сорта ранжированы

относительно сорта 'Белогорский' по признаку повреждения главных стеблей, так как именно они являются наиболее продуктивными. Из 18 сортов ячменя, оцененных в 2019 г., только у двух сортов, 'Миар' (к-31203, Оренбургская обл.) и 'Зенит' (к-31099, Тюменская обл.), главные стебли были повреждены менее, чем у сорта 'Белогорский' (различия статистически значимы). Три сорта, 'Одон' (Бурятия), 'Салаир' (к-31232, Алтайский край) и 'Posada' (Германия), имели показатели на уровне стандарта (рисунок).

центом повреждения всех стеблей (от 13,9% до 17,1%): 'Sunshine' (к-31129), 'Ursa' (Германия), 'Одиссей' (Англия). Однако необходимо помнить, что более половины главных стеблей этих образцов (от 49,8% до 65,8%) были уничтожены насекомым и колосья следующих порядков, обеспечивших высокую продуктивную кустистость, были менее полновесны.

Из 18 сортов, высеянных в 2019 г., отобраны сорта, показавшие слабую пораженность (5–15%) мучнистой росой. Это сорта 'Оленёк', 'Абалак' (к-31201, Краснояр-

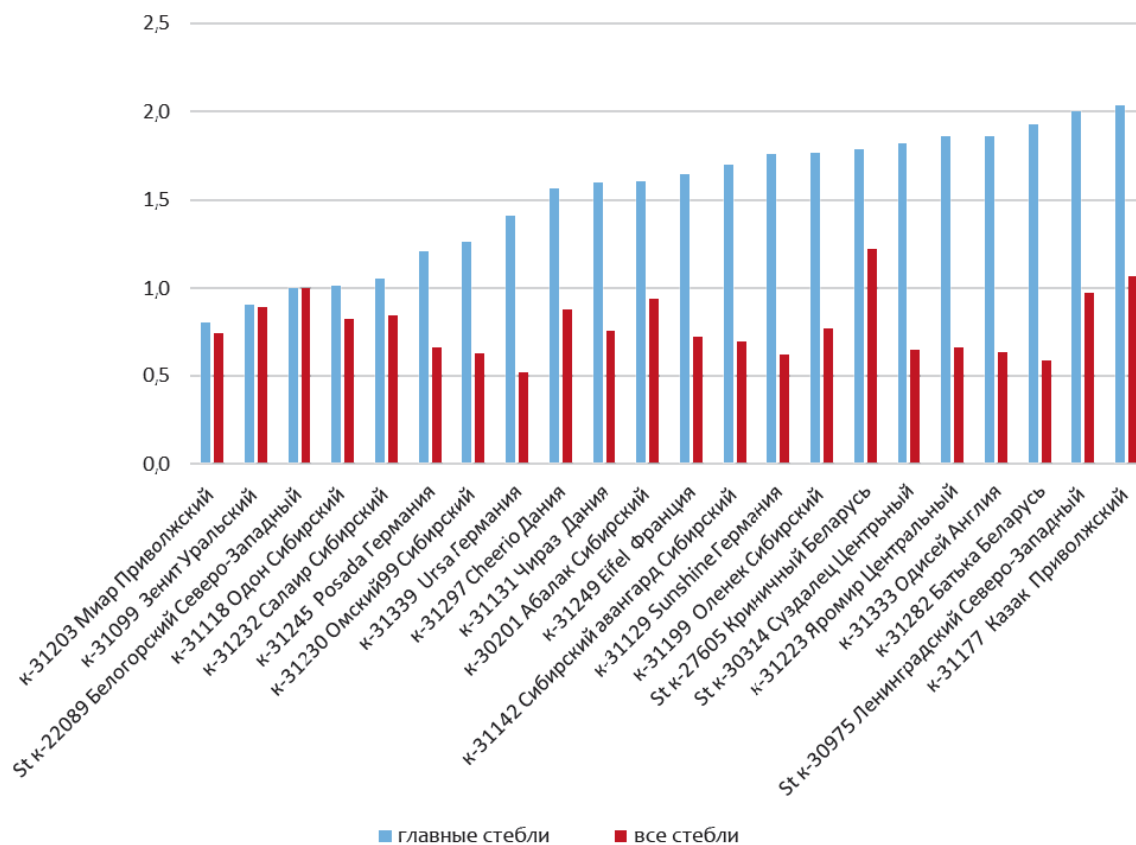


Рисунок. Пораженность сортов ярового ячменя шведской мухой относительно сорта-стандарта 'Белогорский'

Figure. Damage caused by *Oscinella frit* L. on spring barley cultivars, compared with the reference cv. 'Belogorsky'

Установлено, что пораженность вредителем всех стеблей изучаемых сортов в 2019 г. колебалась от 13,9% у сорта 'Ursa' (к-31339, Германия) до 32,7% у сорта 'Криничный' (к-27605, Беларусь). У российских сортов 'Одон' (к-31118), 'Сибирский авангард' (к-31142), 'Яромир' (к-31223), 'Омский 99' (к-31230), а также у сортов 'Батька' (к-31282, Беларусь), 'Одиссей' (к-31333, Англия), 'Posada', 'Ursa' (Германия) и сорта-стандарта 'Суздалец' показатели оказались достоверно ниже, чем у сорта 'Белогорский', а у остальных сортов – на уровне устойчивого стандарта.

При анализе общей пораженности растений шведской мухой необходимо учитывать продуктивную кустистость растений, которая может компенсировать потерю стеблей подгона, уничтоженных личинками вредителя, обеспечивая тем самым приемлемый урожай (табл. 2). Выделены три сорта с высокой продуктивной кустистостью (от 6,3% до 7,8%) и относительно невысоким про-

центом повреждения всех стеблей (от 13,9% до 17,1%): 'Sunshine' (к-31129), 'Ursa' (Германия), 'Одиссей' (Англия).

В 2019 г. на яровом ячмене вновь была отмечена карликовая ржавчина, однако процент ее развития был значительно ниже по сравнению с 2018 г. Развитие болезни на сортах-стандартах 'Суздалец' и 'Ленинградский' составило 40–50%, 'Белогорский' и 'Криничный' – 5–10%. По результатам двухлетних оценок (2018, 2019 г.) на фоне высокопоражаемых ржавчиной сортов выделены сорта со слабым (до 5–10%) проявлением болезни: 'Сибирский авангард' (Омская обл.), 'Миар' (Оренбургская обл.), 'Салаир' (Алтайский край), 'Sunshine', 'Posada', 'Ursa' (Германия), 'Чираз' (к-31131, Дания), 'Eifel' (Франция).

Результаты четырехлетней полевой оценки показали, что все изучаемые сорта ярового ячменя поражаются тем или иным возбудителем болезни (см. табл. 2). Развитие листовых патогенов практически у всех сортов (стадия развития растений 49–60 по Дж. Задоксу) (*Zadoks*

Таблица 2. Характеристика сортов ячменя по устойчивости к шведской мухе и листовым патогенам (Пушкин, 2017–2019 гг.)**Table 2.** Resistance of barley cultivars to fritfly and leaf pathogens (Pushkin, 2017–2019)

№ по каталогу ВИР; название сорта	Происхождение; разновидность <i>Hordeum vulgare</i> L.	Повреждено швед- ской мухой, % (2019 г.)		Развитие болезней, %							Продуктивная кустистость, шт. стеблей/растение
		главных стеблей	всех стеблей	Мучни- стая роса		Карликовая ржавчина			Сеччатая пятнистость, 2017 г.	Темно-бурая пятнистость, 2018 г.	
				2019 г.	2020 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.			
к-31099 Зенит	Тюменская обл. <i>nutans</i>	32,1 ± 4,7	23,9 ± 5,4	50	-	0	40	-	5	30	3,1
к-31118 Одон	Бурятия <i>nutans</i>	35,7 ± 4,2	22,1 ± 3,5	40	20	60	15	15	5	15	4,6
к-31129 Sunshine	Германия <i>nutans</i>	62,1 ± 5,4	16,7 ± 4,2	15	20	5	1	1	0	60	6,3
к-31131 Чираз	Дания <i>nutans</i>	56,4 ± 7,3	20,3 ± 3,8	0	0	0	1	3	0	80	4,8
к-31142 Сибирский авангард	Омская обл. <i>medicum</i>	60,0 ± 5,2	18,7 ± 4,7	20	-	10	3	-	10	20	6,0
к-31177 Казак	Самарская обл. <i>submedicum</i>	71,8 ± 7,5	28,5 ± 1,5	30	-	5	3	-	30	20	4,3
к-31199 Оленек	Красноярский край <i>nutans</i>	62,3 ± 4,5	20,6 ± 3,3	15	-	40	10	-	10	10	5,4
к-31201 Абалак	Красноярский край <i>nutans</i>	56,7 ± 6,7	25,2 ± 8,8	10	-	40	3	-	0	40	5,9
к-31203 Миар	Оренбургская обл. <i>nutans</i>	28,4 ± 7,3	20,0 ± 3,5	20	15	5	20	20	10	40	7,6
к-31223 Яромир	Московская обл. <i>nutans</i>	65,6 ± 7,9	17,7 ± 4,2	15	-	20	5	-	10	30	5
к-31230 Омский 99	Омская обл. <i>pallidum</i>	44,5 ± 4,8	16,9 ± 5,6	70	30	15	60	40	0	20	1,8
к-31232 Салаир	Алтайский край <i>deficiens</i>	37,3 ± 1,7	22,6 ± 6,4	30	-	5	10	-	5	30	2,9
к-31245 Posada	Германия <i>nutans</i>	42,7 ± 4,5	17,7 ± 3,3	1	10	0	3	5	40	30	4,4
к-31249 Eifel	Франция <i>nutans</i>	58,1 ± 3,1	19,3 ± 7,7	10	3	5	3	1	30	60	6,4
к-31282 Батька	Беларусь <i>deficiens</i>	68,0 ± 6,7	15,8 ± 4,0	20	-	10	15	-	20	20	4,1
к-31297 Cheerio	Дания <i>nutans</i>	55,3 ± 3,9	23,5 ± 7,5	5	1	5	30	5	15	30	6,3
к-31333 Одиссей	Англия <i>nutans</i>	65,8 ± 3,9	17,1 ± 2,6	5	-	40	5	-	15	30	7,8
к-31339 Ursa	Германия <i>nutans</i>	49,8 ± 6,2	13,9 ± 3,1	15	1	5	1	1	0	30	6,5

et al., 1974) превышает порог вредоносности 20% (для сетчатой и темно-бурой пятнистостей) и 5–10% (для карликовой ржавчины и мучнистой росы). Также следует отметить, что большинство сортов, поражаемых болезнями, принадлежат зарубежной селекции. Семена интродуцированных сортов ячменя также являются источником распространения новых рас патогенов.

ятно, связано с конкурентными отношениями фитопатогенов. В таблице 3 названы показатели девяти сортов, отличающиеся по признаку устойчивости. Из них только четыре сорта ('Одон', 'Миар', 'Омский 99' и 'Posada') меньше всего были повреждены шведской мухой, а остальные отличались незначительным поражением тем или иным патогеном.

Таблица 3. Сорта ячменя, выделенные по устойчивости к шведской мухе и болезням в 2020 г. (Пушкин)

Table 3. Barley cultivars identified for their resistance to frittly and diseases in 2020 (Pushkin)

№ по каталогу ВИР; название сорта	Повреждение шведской мухой, % повреждения		Развитие болезней, %				Продуктивная кустистость, шт./раст.
	главных стеблей	всех стеблей	Мучнистая роса	Темно-бурая пятнистость	Карликовая ржавчина	Сетчатая пятнистость	
31118 Одон	44,4 ± 2,5	26,5 ± 5,2	20	30	15	10	5,6
31129 Sunshine	55,2 ± 4,3	30,7 ± 3,1	20	3	1	10	7,9
31131 Чираз	61,9 ± 3,2	28,3 ± 4,3	0	10	3	5	6,1
31203 Миар	40,4 ± 2,5	19,1 ± 2,8	15	1	20	0	5,9
31230 Омский 99	28,1 ± 3,9	21,6 ± 3,3	30	1	40	3	3,2
31245 Posada	30,4 ± 5,3	25,4 ± 3,9	10	1	5	10	6,1
31249 Eifel	60,6 ± 6,4	27,8 ± 5,8	3	1	1	3	10,9
31297 Cheerio	78,8 ± 4,1	31,9 ± 3,5	1	5	5	10	10,6
31339 Ursa	72,7 ± 2,7	28,7 ± 3,6	1	1	1	5	10,3
22089 (St.) Белогорский	27,5 ± 3,0	18,1 ± 4,5	20	5	10	0	5,2
27605 (St.) Криничный	55,3 ± 5,3	31,0 ± 3,7	5	5	5	5	5,5

В 2020 г. для окончательной проверки устойчивости к вредным организмам нами было оставлено 13 сортов из 46, которые изначально были взяты в изучение.

Вредоносность шведской мухи была высокой, как и в предыдущие два года. Главные стебли растений ячменя разных сортов были повреждены часто на 50% и более, а все стебли – примерно на 30%. Из болезней сильного развития достигла мучнистая роса, которая стала проявляться уже в фазу кущения растений. На многих сортах ячменя было зафиксировано значительное развитие карликовой ржавчины. Листовые пятнистости (сетчатая и темно-бурая) проявили себя слабо, что, веро-

Как было отмечено, 2020 г. характеризовался умеренно теплой и сухой погодой. Это отразилось на продуктивной кустистости сортов ячменя, которая была примерно в 1,5 раза выше, чем в прохладном и дождливом 2019 г. Продуктивная кустистость характеризует выносливость растений к повреждению вредителем, но при этом сорт может значительно повреждаться насекомым, что и показывают данные таблицы 3. Например, сорта 'Eifel', 'Cheerio', 'Ursa' имели продуктивную кустистость в 2020 г. больше 10, при этом поврежденность главных стеблей этих сортов шведской мухой составляла от 60,6 до 78,8%.

Заключение

Многолетняя полевая оценка 46 сортов ярового ячменя по устойчивости к шведской мухе на провокационном фоне и на естественном фоне к листовым патогенам свидетельствует о сложности выявления малоповреждаемых и малопоражаемых образцов комплексом изучаемых вредных организмов. В условиях различных погодных условий изменяется инвазионный и инфекционный фон, сокращается число выделившихся устойчивых форм.

В ходе исследования удалось выявить: только один сорт с комплексной устойчивостью к вредным организмам: 'Posada' (к-31245, Германия) относительно слабо поражен шведской мухой (повреждено главных стеблей 30,4% и всех стеблей – 25,4%), карликовой ржавчиной и мучнистой росой (до 0–5%). Кроме того, выявлено:

- три сорта, устойчивые к шведской мухе: 'Омский 99' (к-31230, Омская обл.) (повреждение главных стеблей 28,1% и всех стеблей 21,6%), 'Миар' (к-31203, Оренбургская обл.) (40,0% и 19,1% соответственно) и сорт 'Одон' (к-31118, Бурятия) (44,4% и 26,5% соответственно);

- три сорта, устойчивые (0–5-процентное развитие) к мучнистой росе: 'Чираз' (к-31131, Дания), 'Cheerio' (к-31297, Дания), 'Одиссей' (к-31333, Англия);

- четыре сорта, слабопоражаемые (до 1–5%) карликовой ржавчиной: 'Чираз' (к-31131, Дания), 'Eifel' (к-31249, Франция), 'Ursa' (к-31339), 'Sunshine' (к-31129, Германия).

Сортов с групповой устойчивостью к болезням не обнаружено.

Результаты многолетней оценки могут быть использованы в селекционном процессе по созданию сортов ячменя с групповой и комплексной устойчивостью к вредным организмам.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0006 "Search for and viability maintenance, 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".

References / Литература

Chesnokov P.G. Methods of researching into plant resistance to pests (Metody issledovaniy ustoychivosti rasteniy k vreditelyam). Moscow; 1953. [in Russian] (Чесноков П.Г. Методы исследований устойчивости растений к вредителям. Москва; 1953).

Chumakov A.E., Zakharova T.I. Virulence of crop diseases (Vredonosnost bolezney selskokhozyaystvennykh kultur). Moscow: Agropromizdat; 1990. [in Russian] (Чумаков А.Е., Захарова Т.И. Вредоносность болезней

сельскохозяйственных культур. Москва: Агропромиздат; 1990).

Geshele E.E. Fundamentals of phytopathological evaluation in plant breeding (Osnovy fitopatologicheskoy otsenki v seleksii rasteniy). 2nd ed. Moscow; 1978. [in Russian] (Гешеле Э.Э. Основы фитопатологической оценки в селекции растений. 2-е изд. Москва; 1978).

Geshele E.E. Methodological guide for phytopathological evaluation of crops (Metodicheskoye rukovodstvo po fitopatologicheskoy otsenke zernovykh kultur). Odessa; 1971. [in Russian] (Гешеле Э.Э. Методическое руководство по фитопатологической оценке зерновых культур. Одесса; 1971).

Illarionov A.I., Samsonov R.A. Corn flies: spreading, harmfulness and their number restriction practice. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2010;1(24):10-26. [in Russian] (Илларионов А.И., Самсонов Р.А. Злаковые мухи: распространение, вредоносность и приемы ограничения их численности. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2010;1(24):10-26).

Novozhilov K.V., Zakharenko V.A. Levels and trends of changes in the species composition and intrapopulation structure, areas of distribution for complexes of harmful and beneficial organisms, and forecast of dangerous phytosanitary situations by zones of the country (Urovni i tendentsii izmeneniya vidovogo sostava i vnutripopulyatsionnoy struktury, arealy kompleksov vrednykh i poleznykh organizmov i prognoz opasnykh fitosanitarnykh situatsiy po zonam strany). St. Petersburg; 2000. [in Russian] (Новожилов К.В., Захаренко В.А. Уровни и тенденции изменения видового состава и внутривидовой структуры, ареалы комплексов вредных и полезных организмов и прогноз опасных фитосанитарных ситуаций по зонам страны. Санкт-Петербург; 2000).

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;26c(5):496-500. DOI: 10.1139/cjr48c-033

Roelfs A.P., Singh R.P., Saari E.E., Rust diseases of wheat: Concepts and methods of disease management. Mexico: CIMMYT; 1992.

Semenova A.G., Kovaleva O.N., Orlov S.Yu., Yudin I.O. Resistance of barley varieties to *Oscinella frit*. *Zashchita i karantin rasteniy = Plant Protection and Quarantine*. 2014;(7):16-18. [in Russian] (Семенова А.Г., Ковалева О.Н., Орлов С.Ю., Юдин И.О. Устойчивость к шведской мухе сортов ячменя. *Защита и карантин растений*. 2014;(7):16-18).

Semenova A.G., Yudin I.O. A possibility of preserving barley harvests under significant virulence of the fritfly (Vozmozhnost sokhraneniya urozhasya yachmenya pri znachitelnoy vredonosnosti shvedskoy mukhi). In: *Scientific support for the development of the agro-industrial complex in the context of import substitution. Collection of scientific papers. Part 1*. St. Petersburg: St. Petersburg State Agrarian University; 2018. p.75-80. [in Russian] (Семенова А.Г., Юдин И.О. Возможность сохранения урожая ячменя при значительной вредоносности шведской мухи. В кн.: *Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. Сборник научных трудов. Часть 1*. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет; 2018. С.75-80).

Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*. 1974;14(6):415-421. DOI: 10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x

Zagovora A.V., Kgaevskaya O.S., Kravchenko A.B. Fritfly. Entomological evaluation of cereal and legume crop breeding material. Guidelines (Shvedskaya mukha. Entomologicheskaya otsenka selektsionnogo materiala zernovykh i zernobobovykh kultur. Metodicheskiye ukazaniya). Kharkiv; 1980. [in Russian] (Заговора А.В.,

Краевская О.С., Кравченко А.Б. Шведская муха. Энтомологическая оценка селекционного материала зерновых и зернобобовых культур. Методические указания. Харьков; 1980).

Zakharenko V.A. Pesticides in the agrarian sector of Russia in the late 20th – early 21st centuries). *Agrokhiimiya = Agrochemistry*. 2008;(11):86-96. [in Russian] (Захаренко В.А. Пестициды в аграрном секторе России конца XX – начала XXI в. *Агрохимия*. 2008;(11):86-96).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Семенова А.Г., Анисимова А.В., Ковалева О.Н. Устойчивость к вредным организмам современных сортов ячменя. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):108-116. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-108-116

Semenova A.G., Anisimova A.V., Kovaleva O.N. Resistance of modern spring barley cultivars to harmful organisms. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):108-116. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-108-116

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-108-116>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Semenova G.A. <https://orcid.org/0000-0002-2817-8615>

Kovaleva O.N. <https://orcid.org/0000-0002-3990-6526>

Аккумуляция кадмия и цинка регенерантами ячменя на провокационном почвенном фоне с кадмием

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-117-125

УДК 631:581.1

Поступление/Received: 05.07.2021

Принято/Accepted: 16.09.2021

О. Н. ШУПЛЕЦОВА^{1*}, Е. В. ТОВСТИК²

¹ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166а

* ✉ olga.shuplecova@mail.ru

² Вятский государственный университет, 610000 Россия, г. Киров, ул. Московская, 36

✉ tovstik2006@inbox.ru

Accumulation of cadmium and zinc in barley regenerants on a provocative soil background with cadmium

O. N. SHUPLETSOVA^{1*}, E. V. TOVSTIK²

¹ Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia

* ✉ olga.shuplecova@mail.ru

² Vyatka State University, 36 Moskovskaya St., Kirov 610000, Russia

✉ tovstik2006@inbox.ru

Актуальность. Эффективным способом получения стресс-толерантных к кадмию генотипов ячменя (*Hordeum vulgare* L.) с низким уровнем аккумуляции токсичных ионов в зерне является отбор клеток в селективных системах *in vitro* на основе соматклональной изменчивости, способствующей формированию специфических и неспецифических адаптивных механизмов.

Материал и методы. Объектом исследований служил сорт '999-93', созданный методом отбора из гибридной комбинации ярового ячменя (Luly × Conrad) × 2867-80, и его регенерантные формы в семенной репродукции 3–5-го поколения, индуцированные в процессе клеточной селекции на средах с кадмием, алюминием и полиэтиленгликолем. Растения выращивали в обычных почвенных условиях и на провокационном фоне по кадмию.

Результаты. Выявлена незначительность вклада средобразующей активности корней исследуемых генотипов в инактивацию токсичных ионов. На провокационном фоне суммарный вынос кадмия растениями повышался в 22,5 раза, достигая 5,8–10,3 мг/кг сухой фитомассы при распределении по органам: корни (91,9–93,4%) > стебли (5,9–7,8%) > зерно (0,5–0,8%). Количество токсичного металла в зерне увеличивалось у исходной формы в 11 раз, у регенерантов – в 2,8–6,8 раза. Показано негативное влияние избыточного кадмия в почве на аккумуляцию цинка ячменем. Регенеранты, индуцированные на селективных средах с кадмием, имели наибольшие адаптационные преимущества к стрессу: выраженные барьерные функции корней, минимальное накопление токсичных ионов в надземных органах, высокую семенную продуктивность (превосходили исходный генотип по числу зерен и массе зерна с растения на 35,5%). Показана слабость приспособительных реакций, связанных с ограничением аккумуляции кадмия в растительных тканях регенерантов, полученных путем отборов *in vitro* с алюминием и осмотиком.

Ключевые слова: токсичность металлов, клеточная селекция, регенерантная линия, поглощение, органы растений, функциональный барьер, устойчивость.

Background. An effective way to obtain barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes stress-tolerant to cadmium, with a low level of toxic ion accumulation in grain, is the selection of cells in selective *in vitro* systems, based on somaclonal variability, which promotes the formation of specific and nonspecific adaptive mechanisms.

Materials and methods. The object of the study was cv. '999-93', developed by selection from a hybrid combination of spring barley (Luly × Conrad) × 2867-80, and its regenerated forms in seed reproductions of the 3–5th generation, induced in the process of cell selection on media with cadmium, aluminum and polyethylene glycol. The plants were grown under normal soil conditions and against a provocative background for cadmium.

Results. The contribution of the environment-forming activity in the roots of the studied genotypes to inactivation of toxic ions appeared insignificant. The total removal of cadmium by plants against a provocative background increased 22.5 times, reaching 5.8–10.3 mg/kg of dry phytomass when distributed among organs: roots (91.9–93.4%) > stems (5.9–7.8%) > grain (0.5–0.8%). The amount of toxic metal in grain increased 11 times in the original form and 2.8–6.8 times in regenerants. The negative effect of excess cadmium in the soil on the accumulation of zinc in barley was shown. There was no gradation in the importance of organs for zinc accumulation or any presence of functional barriers preventing this. Regenerants induced on selective media with cadmium had the greatest adaptive advantages to stress: pronounced barrier functions of roots, minimal accumulation of toxic ions in aerial organs, and high seed productivity (they exceeded the original genotype by 35.5%). Adaptive reactions associated with the limitation of cadmium accumulation in plant tissues of regenerants, obtained by *in vitro* selections with aluminum and an osmotic, were shown to be weak.

Key words: metal toxicity, cell selection, regenerant line, absorption, plant organs, functional barrier, resistance.

Введение

Многие современные почвы испытывают загрязнение тяжелыми металлами (ТМ), негативно влияющее на состояние биосферы. Наибольший вред оказывают подвижные формы элементов, легко поглощаемые растениями. Одним из наиболее опасных поллютантов по токсичности, подвижности и способности накапливаться в пищевых цепях является кадмий. Попадая в почву, кадмий ухудшает почвенное плодородие, изменяет биологические, химические и физические ее свойства; накапливаясь в растениях, негативно воздействует на метаболические процессы (фотосинтез, углеводный и азотный обмен), индуцирует окислительный стресс, нарушает водный баланс и поступление макро- и микроэлементов в растительные ткани, что в совокупности приводит к снижению продуктивности и качества растениеводческой продукции (Kaznina, Titov, 2013; Lisitsyn, Shikhova, 2016). Поступая в организм человека, кадмий изменяет работу пищеварительных ферментов, ингибирует углеводный обмен, вызывая гипергликемию и угнетение синтеза гликогена в печени (Chetverikova, Martsinevskaya, 2013). Снижение фитотоксичности ТМ осуществляется препятствием («стратегия избегания») поступлению ионов в растение (связывание корневыми экссудатами, адсорбция на клеточной стенке), но чаще всего компартиментацией в менее активные части разных тканей и органов (Titov et al., 2014; Seregin et al., 2015). В современных условиях задача снижения негативного влияния кадмия на жизнеспособность и экологическую безопасность сельскохозяйственных растений становится особенно острой.

Ионная активность кадмия существенно зависит от кислотности среды, достигая наибольшего значения в кислых почвах в интервале 4,5–5,5 рН (Titov et al., 2014; Nagajoti et al., 2010). Высокий уровень металла наблюдается в подзолистых и дерново-подзолистых почвах (0,7–1,3 мг/кг и выше), характерных для Нечерноземной зоны РФ (Gordeev, Romanenko, 2008). В частности, в почвах Кировской области валовое содержание кадмия выше, чем в целом по России. Для разных горизонтов дерново-подзолистых почв региона оно колеблется от 0,7 до 1,1 мг/кг; содержание подвижных форм находится в пределах от 0,01 до 0,3 мг/кг (Shikhova, Egoshina, 2004).

Высокая фитотоксичность кадмия объясняется его близостью по химическим свойствам к цинку, одному из важнейших растительных микроэлементов. Во многих биохимических процессах кадмий может выступать в роли цинка, тем самым нарушая работу жизненно важных ферментов, участвующих в белковом, нуклеиновом и углеводном обменах (Titov et al., 2014), что приводит к угнетению и возможной гибели растений. Кроме того, цинковая недостаточность снижает питательную ценность урожая сельскохозяйственных культур и его потенциал для использования в пищевой промышленности. Повышение уровня цинка в почве, в том числе внешнего экзогенно, способствует уменьшению токсичности кадмия в зависимости от концентрации обоих металлов в среде, продолжительности их воздействия, генотипов и условий роста растений (Rizwan et al., 2019).

Изучение механизмов транслокации ионов ТМ как токсичного, так и эссенциального действия в растениях по-прежнему актуально. Остается нерешенным вопрос о существовании связи между устойчивостью организмов и накоплением в них ТМ. В некоторых случаях отмечено отсутствие зависимости между аккумуляцией ме-

талла в растениях и его содержанием в почве (Belyaeva, 2009; Gorban, Yurgenson, 2016). Для получения экологически безопасной зерновой продукции необходимо минимизировать накопление токсичных элементов в зерне. Поэтому создание генетической базы зерновых культур, адаптированных к неблагоприятным почвенным условиям и способных произрастать на загрязненных землях без значительной потери урожая, необходимо сочетать с селекцией сортов с низким уровнем аккумуляции токсичных ионов. Широко распространенной и востребованной культурой в сельскохозяйственном производстве является ячмень (*Hordeum vulgare* L.) (Shchennikova, 2015; Sakellariou, Mylona, 2020), который среди зерновых культур характеризуется наибольшей чувствительностью к почвенным стрессорам, обусловленной слаборазвитой корневой системой с низкой способностью к хелатообразованию (Kosareva, 2012; Đalović et al., 2010).

Для повышения эффективности и сокращения периода селекционного процесса используют соматоклональную изменчивость, вызванную дестабилизацией генетической и эпигенетической программы в клетках растений при культивировании на искусственных питательных средах. Внесение в среду селективных агентов, моделирующих воздействие природных стрессоров, и отбор устойчивых каллусных культур (соматоклонов) позволяют использовать регенерированные из них растения в качестве перспективного селекционного материала. Следует отметить, что каллусные клетки, находясь в состоянии физиологического стресса на селективных фонах *in vitro*, проявляют избыточную активность метаболизма, что приводит к возможному формированию общих адаптивных механизмов к неблагоприятным воздействиям (Jaleel et al., 2009) и, как следствие, появлению устойчивости к стрессору, который не входит в конкретную направленность клеточной селекции. Наряду с проявлением неспецифической устойчивости на уровне изолированной ткани, возможна активизация этого механизма на уровне взрослого растения-регенеранта.

Таким образом, для изучения связи между устойчивостью растений и накоплением в них кадмия целесообразно использовать как регенеранты, полученные в процессе клеточной селекции целевой направленности, так и регенерантные генотипы, отобранные в селективных системах со стрессорами иной природы. Представляет практический интерес оценка взаимовлияния токсичного и эссенциального металлов при их аккумуляции в растительных тканях.

Цель исследования – сравнительный анализ способности аккумулировать кадмий и цинк на провокационном почвенном фоне по кадмию регенерантами ячменя, индуцированными в различных селективных условиях *in vitro*.

Объекты и методы

Объектами исследования служили генотипы ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.): исходная форма – сорт '999-93', созданный методом отбора из гибридной комбинации [(Luly × Conrad) × 2867-80], характеризующийся низкой полевой устойчивостью к кислым почвам; его регенерантные линии (RA) 3–5-го поколения, индуцированные в каллусной культуре по разработанным ранее методикам (Shupletsova et al., 2020) на средах со следующими селективными агентами: линия RA_{Al} – 40 мг/л Al³⁺; линия RA_{ПЭГ} – 15-процентный полиэтиленгликоль (ПЭГ) в качестве осмотика; линия RA_{Cd} – 15 мг/л Cd²⁺.

В условиях вегетационного опыта оценивали продуктивные признаки растений и накопление в них ионов кадмия и цинка. Семена высевали в вегетационные емкости (три растения на сосуд объемом 5 л, шесть сосудов в каждом варианте) с дерново-подзолистой почвой, типичной для Кировской области. Схема опыта включала два почвенных фона: 1) контрольный ($pH_{\text{КСЛ}} = 6,0$); 2) провокационный (с добавлением 5 мг/кг почвы ионов Cd^{2+} при $pH_{\text{КСЛ}} = 5,2$). Для создания провокационного фона с кадмием в природную кислотную почву вносили $Cd(CH_3COO)_2$, затем ее регулярно увлажняли до 80% от полной влагоемкости и перемешивали в течение месяца для закрепления кадмия в почвенном поглощающем комплексе. Оценивали содержание цинка на обоих почвенных фонах (табл. 1).

Таблица 1. Содержание металлов в почвенных пробах (мг/кг почвы) до посева семян

Table 1. The content of metals in soil samples (mg/kg of soil) before sowing

Форма	Контроль		Провокационные условия по кадмию	
	Cd^{2+}	Zn^{2+}	Cd^{2+}	Zn^{2+}
Подвижная	$0,18 \pm 0,03$	$4,5 \pm 0,4$	$4,2 \pm 0,4$	$5,7 \pm 0,5$
Валовая	$0,44 \pm 0,03$	$26,8 \pm 2,2$	$5,9 \pm 0,6$	$49,9 \pm 13,0$

Растения выращивали при естественном освещении до получения семенного потомства. По мере созревания растения извлекали из почвы, отмывали корни, сушили и делили на структурные компоненты (корни, стебель, зерно). В каждом варианте проводили анализ структуры продуктивности растений.

Содержание подвижных и кислоторастворимых (валовых) форм цинка и кадмия в пробах почвы, отобранных в области ризосферы, проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе «СПЕКТР-5-4». Для этого воздушно-сухие почвенные образцы предварительно экстрагировали ацетатно-аммонийным буфером ($pH = 4,8$) и азотной кислотой при кипячении соответственно (Kuznetsov et al., 1992). Несмотря на то что экстракция металлов из почвы азотной кислотой не всегда позволяет оценивать полученные значения как валовые, применение данной вытяжки характерно при оценке уровня загрязнения почв тяжелыми металлами. В пробах почвы, отобранных в области ризосферы, а также в свободной от корневой системы зоне определяли pH солевой вытяжки из почв потенциометрическим методом в соответствии с ГОСТ 26483-85 (GOST 26483-85..., 1985).

Предварительную подготовку растительных проб для исследования на содержание ТМ осуществляли путем сухой минерализации. Концентрацию ионов цинка и кадмия в растительных тканях ячменя определяли методом инверсионной вольтамперометрии (Collection of methods..., 2004).

Для установления генотипической специфики в поглощении металлов растениями ячменя рассчитывали коэффициент биогеохимической подвижности (КБХП) (индекс аккумуляции – количественный показатель перехода химических элементов из почвы в растение) по формуле:

$$КБХП = \frac{C_p}{C_{пф}}$$

где C_p – содержание ТМ в воздушно-сухой массе органов растения; $C_{пф}$ – содержание подвижных форм ТМ в почве (Tovstik et al., 2020).

Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли методом дисперсионного анализа с использованием встроенного статистического пакета Excel (MS Office 2007). В таблицах и на рисунках приведены средние значения из трех аналитических повторений и их квадратичные отклонения (различия значимы при $p \geq 0,95$).

Результаты и обсуждение

Представленные в статье результаты являются продолжением исследований влияния условий культивирования каллусной ткани ячменя на формирование хозяйственно ценных признаков регенерантов. Ранее проведена сравнительная оценка на нейтральном и провокаци-

онных (с алюминием и кадмием) почвенных фонах регенерантных линий ячменя, полученных на основе общего исходного генотипа на селективных средах *in vitro* с ионами металлов и водным дефицитом. Растения-регенеранты характеризовались низким проявлением симптомов окислительного стресса (по уровню перекисного окисления липидов и содержанию фотосинтетических пигментов) на обоих стрессовых фонах, что обеспечило этим генотипам в условиях стресса более высокую семенную продуктивность и адаптивные преимущества по сравнению с исходным генотипом (Shupletsova et al., 2020). В рамках настоящего исследования оценивали аккумуляцию кадмия и цинка растениями ячменя этого же набора генотипов.

Важнейшим фактором, влияющим на подвижность металлов в почве, является кислотность почвенного раствора. Одной из составляющих механизма устойчивости растений к ионной токсичности может быть наличие средообразующей (экскреторной) функции корней, приводящей к подщелачиванию среды и выделению хелатирующих органических кислот. Создание pH -барьера в ризосфере снижает подвижность тяжелых металлов в почве, приводит к их полной или частичной детоксикации, тем самым уменьшая степень ростингибирования среды (Sokolova et al., 2012). Анализ кислотности солевых вытяжек из почв, пробы которой были отобраны в области ризосферы и свободной от корневой системы зоне, позволил установить уровень средообразующей активности генотипов ячменя, выращенных на провокационном и контрольном фонах. Результаты предыдущих исследований показали существенное повышение (относительно контроля) уровня pH в зоне ризосферы в кислой почве с алюминием у регенерантной линии RA_{Al} и в меньшей степени у $RA_{пфг}$ (Shupletsova et al., 2020). Однако в присутствии кадмия все исследуемые генотипы снижали интенсивность подщелачивания почвы по сравнению с контрольным фоном: исходный генотип – на 0,8 ед. pH , и менее существенно растения-регенеранты – на 0,4–0,65 ед. pH (значения pH в зоне ризосферы растений

в контрольных условиях выращивания не приведены). На рисунке 1 показано изменение кислотности в почве с кадмием под действием корневых выделений растений. В этих условиях интенсивность подщелачивания почвы регенерантными линиями была незначительной (RA_{Cd} – на уровне исходного генотипа; $RA_{пэг}$ – на 0,18 ед. рН выше) или полностью отсутствовала (RA_{Al}). Полученные результаты позволяют предположить, что толерантность к кадмию, приобретенная регенерантным генотипом RA_{Cd} в результате отбора в каллусной культуре, обусловлена механизмами, не связанными со средообразующей активностью корней.

концентрации не превышало 5–7% от первоначального уровня по обоим формам.

На следующем этапе исследований оценивали аккумуляцию металлов в вегетативных и репродуктивных органах растений. На обоих почвенных фонах кадмий накапливался в основном в корневых тканях ячменя. Содержание токсичного металла последовательно снижалось при переходе в стебель и зерно (табл. 2). Распределение кадмия по органам растений в зависимости от генотипа изменялось следующим образом: на провокационном фоне – корни (91,9–93,4%) > стебли (5,9–7,8%) > зерно (0,5–0,8%); при сохранении этой же тенденции

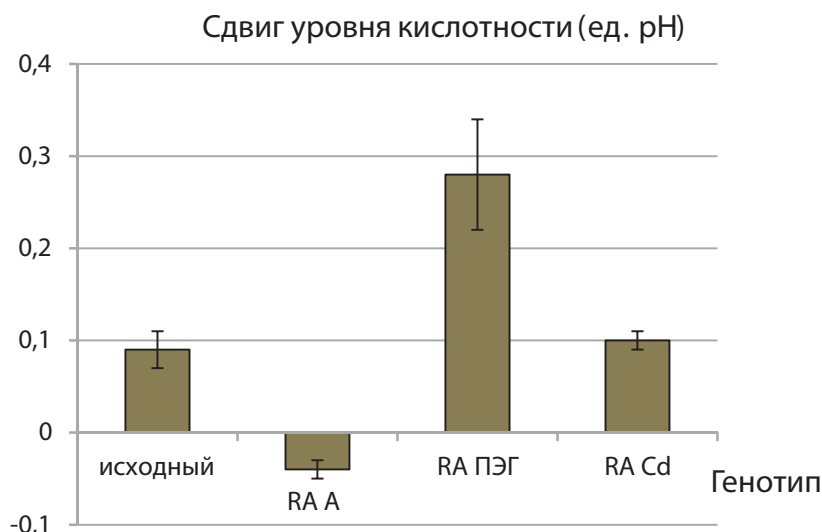


Рис. 1. Величина изменения уровня рН в зоне ризосферы растений ячменя при культивировании на почвенном фоне с кадмием в условиях вегетационного опыта

Fig. 1. The magnitude of the change in pH in the rhizosphere of barley plants during cultivation on soil backgrounds with cadmium under the conditions of a plant growth experiment

По окончании вегетации растений помимо кислотности в почвенных пробах определяли остаточное количество кадмия и цинка. Содержание кадмия в контрольных условиях менялось незначительно по сравнению с начальным уровнем (до посева семян). На провокационном фоне при сохранении уровня валовых форм изменялась концентрация подвижных соединений (в мг/кг почвы): значительно – у исходного генотипа ($1,87 \pm 0,56$), регенерантных линий RA_{Al} ($1,69 \pm 0,50$) и $RA_{пэг}$ ($1,52 \pm 0,75$), в меньшей степени – у RA_{Cd} ($3,24 \pm 0,56$). Снижение подвижного кадмия провокационного фона свидетельствовало об активном выносе ионов растениями в кислой почвенной среде на фоне высокой концентрации металла.

Исследуемые почвенные образцы характеризовались содержанием цинка значительно ниже установленного значения ПДК, на уровне нижней допустимой границы подвижных соединений в почве сельхозугодий (не менее 4–6 мг/кг), и тем самым были отнесены к классу низкообеспеченных почв. В контрольных условиях в результате выноса растениями концентрация цинка снижалась относительно первоначального уровня и достигала значений в зависимости от генотипов ячменя: 13,5–21,0 мг/кг для валовых форм (снижение на 21,7–49,7%) и 3,06–4,02 мг/кг для подвижных соединений (снижение на 11,2–32,0%). На провокационном фоне вынос цинка растениями происходил менее активно, снижение его

в контроле – корни (78,5–83,2%) > стебли (13,2–19,7%) > зерно (1,4–5,5%). Количество металла в зерне ячменя, выращенного на провокационном фоне, увеличивалось по сравнению с контролем у исходной формы в 11 раз и в меньшей степени у регенерантов – от 2,8 до 6,8 раз. Следует отметить, что содержание кадмия в зерне регенерантных генотипов RA_{Cd} (0,041 мг/кг) и RA_{Al} (0,036 мг/кг), прошедших отбор в кислых средах *in vitro* с ионной токсичностью металлов, было ниже по сравнению с исходным генотипом (0,055 мг/кг) и $RA_{пэг}$ (0,075 мг/кг). Если на контрольном фоне суммарный вынос кадмия растениями колебался в небольших пределах (0,25–0,39 мг на 1 кг сухой фитомассы), то на почве с избыточным кадмием различия между генотипами были значительные (мг на 1 кг сухой фитомассы): исходный генотип – 6,2; RA_{Al} – 7,2; $RA_{пэг}$ – 10,3 и RA_{Cd} – 5,8; в целом аккумуляция металла проходила активнее в 10–15 раз по сравнению с контролем. Расчет значений коэффициента биогеохимической подвижности (КБХП) подтвердил наблюдаемую специфику в поглощении токсичного металла органами растений. Отчетливо прослеживалось функционирование физиологических барьеров на границах «корень – стебель» и в меньшей степени – «стебель – репродуктивные органы». Так, КБХП, рассчитанные для корней на контрольном (1,9–3,2) и кадмиевом (2,5–3,9) фонах, последовательно на порядок снижались при переходе от корня на следующие функциональные уровни

Таблица 2. Содержание (мг/кг) / КБХП цинка и кадмия в вегетативных и репродуктивных органах ячменя
Table 2. Content (mg/kg) / biogeochemical mobility coefficient of zinc and cadmium in vegetative and reproductive organs of barley

Генотип растений	Почвенный фон			
	Контроль		Провокационный по кадмию	
	Cd	Zn	Cd	Zn
Корни				
Исходный генотип	$\frac{0,22 \pm 0,08}{1,9}$	$\frac{9,2 \pm 3,6}{1,5}$	$\frac{5,7 \pm 1,9}{3,4}$	$\frac{22,0 \pm 9,0}{20,5}$
RA _{Al}	$\frac{0,21 \pm 0,08}{1,5}$	$\frac{13,9 \pm 5,4}{2,8}$	$\frac{6,6 \pm 2,6}{3,9}$	$\frac{8,5 \pm 3,3}{5,3}$
RA _{пэг}	$\frac{0,38 \pm 0,15}{3,2}$	$\frac{46,0 \pm 15,4}{8,9}$	$\frac{9,5 \pm 2,7}{3,2}$	$\frac{3,3 \pm 1,3}{1,5}$
RA _{cd}	$\frac{0,24 \pm 0,09}{2,0}$	$\frac{42,0 \pm 15,0}{7,4}$	$\frac{5,5 \pm 2,1}{2,5}$	$\frac{1,9 \pm 0,8}{0,8}$
Стебель				
Исходный генотип	$\frac{0,058 \pm 0,023}{0,53}$	$\frac{79,7 \pm 20,3}{13,3}$	$\frac{0,45 \pm 0,18}{0,2}$	$\frac{3,5 \pm 1,3}{3,2}$
RA _{Al}	$\frac{0,033 \pm 0,013}{0,23}$	$\frac{40,0 \pm 15,0}{7,8}$	$\frac{0,56 \pm 0,20}{0,3}$	$\frac{21,1 \pm 8,0}{13,3}$
RA _{пэг}	$\frac{0,064 \pm 0,025}{0,53}$	$\frac{34,0 \pm 13,0}{6,8}$	$\frac{0,68 \pm 0,21}{0,2}$	$\frac{3,9 \pm 1,5}{1,8}$
RA _{cd}	$\frac{0,047 \pm 0,018}{0,39}$	$\frac{76,0 \pm 30,0}{13,4}$	$\frac{0,35 \pm 0,14}{0,1}$	$\frac{2,2 \pm 0,1}{0,1}$
Зерно				
Исходный генотип	$\frac{0,005 \pm 0,001}{0,04}$	$\frac{60,1 \pm 23,6}{9,9}$	$\frac{0,055 \pm 0,011}{0,03}$	$\frac{11,9 \pm 2,1}{11,3}$
RA _{Al}	$\frac{0,009 \pm 0,003}{0,06}$	$\frac{12,2 \pm 4,8}{2,3}$	$\frac{0,036 \pm 0,008^*}{0,02}$	$\frac{9,2 \pm 3,6}{5,7}$
RA _{пэг}	$\frac{0,026 \pm 0,010}{0,22}$	$\frac{53,4 \pm 21,6}{10,4}$	$\frac{0,075 \pm 0,019}{0,03}$	$\frac{9,0 \pm 3,5}{4,1}$
RA _{cd}	$\frac{0,006 \pm 0,001}{0,04}$	$\frac{19,8 \pm 8,2}{3,4}$	$\frac{0,041 \pm 0,009}{0,02}$	$\frac{6,1 \pm 2,4}{2,5}$

Примечание: ПДК в зерне Zn – 50,0; Cd – 0,1 мг/кг

Note: MPC in grain are 50.0 for Zn, and 0.1 mg/kg for Cd

(в стебель и зерно), составив значения много меньше 1 (доступных форм кадмия в почве больше, чем содержится в данном органе растения). Наименьшее значение КБХП для всех структурных компонентов отмечены у регенерантной линии RA_{cd}.

Аккумуляция цинка ячменем, в отличие от токсичного металла, не имела характер последовательного снижения в системе «корень – стебель – зерно» и зависела от генотипа, органа и условий произрастания растений. При благоприятных условиях выращивания суммарное накопление цинка у сравниваемых генотипов колебалось в пределах 65,9–149,9 мг/кг сухой фитомассы. Металл перемещался из корней и накапливался в надземных частях (доля от общего содержания): в стебле (25,6–60,7%) и зерне (13,9–40,0%). В провокационных условиях общее количество цинка в растительных тканях сни-

жалось в 1,7–16,7 раз в зависимости от генотипа (мг/кг сухой фитомассы: исходный генотип – 37,4; RA_{Al} – 38,8; RA_{пэг} – 16,2 и RA_{cd} – 10,2). Отмечены органы растений, где цинк накапливался в максимальном количестве: в корнях (исходный генотип – 58,7%), стебле (RA_{Al} – 54,1%), зерне (RA_{пэг} – 55,6% и RA_{cd} – 59,8%). Внесение экзогенного кадмия в почву снижало содержание цинка в зерне всех растений по сравнению с контрольным фоном: в 5-6 раз у исходного генотипа и RA_{пэг}, в меньшей степени у RA_{Al} и RA_{cd} (в 1,3 и 3,0 раза). Рассчитанные коэффициенты аккумуляции (КБХП > 1) подтвердили активный вынос цинка как корнями, так и надземными органами на обоих почвенных фонах. Исключением являлась регенерантная линия RA_{cd}. Выявлено, что значения КБХП обоих металлов, рассчитанные для всех органов растений этой линии в провокационных условиях,

были минимальными по сравнению с остальными генотипами, что указывает на относительно слабую аккумуляцию как цинка, так и кадмия растительными тканями RA_{Cd} .

Особый интерес представляет вопрос о наличии связи между устойчивостью организмов и накоплением в них ТМ. Возможно, что устойчивость к металлам и способность к биоаккумуляции контролируются различными генетическими системами. Оценка стрессоустойчивости чаще всего базируется на анализе видимых изменений морфологии растений при воздействии критических доз токсикантов. Исходя из этого, проводили сопоставление продуктивных признаков при выращивании ячменя в контрольных и провокационных условиях. На благоприятном почвенном фоне регенерантная линия RA_{Al} имела преимущество перед $RA_{PЭГ}$ и RA_{Cd} в продуктивной кустистости (на 24 и 29,5%) и массе зерна с растения (20 и 36%), однако различие с исходным генотипом было недостоверным (рис. 2).

Присутствие избыточного кадмия в почве негативно сказывалось на формировании продуктивных признаков ячменя. Однако регенерантные линии, независимо от условий их отбора в каллусной культуре, достоверно превосходили исходный генотип по числу зерен (на 9,4–36,5%) и массе зерна с растения (на 9,7–35,5%). К токсичности ионов кадмия в почве в большей степени были адаптированы растения регенерантной линии RA_{Cd} , которые не снижали высоту и продуктивную кустистость в присутствии почвенного стрессора по сравнению с контрольными условиями, а по структурным показателям максимально среди регенерантных линий превышали исходный генотип.

Заключение

Проведенные исследования показали неодинаковый характер аккумуляции ионов токсичного и эссенциального металлов растительными тканями ячменя, завися-

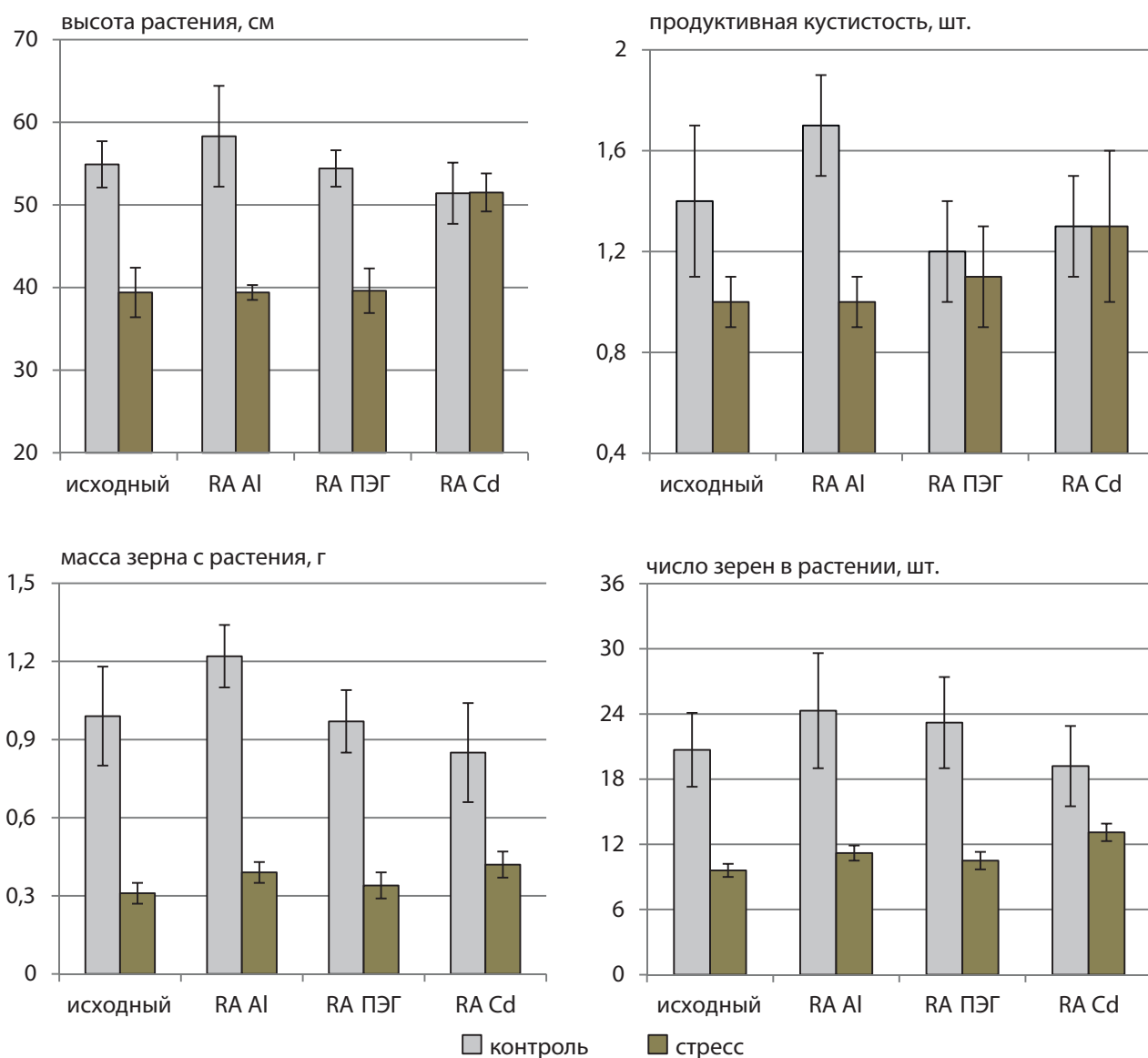


Рис. 2. Продуктивные признаки растений ячменя сорта '999-93' и его регенерантных форм в условиях вегетационного опыта в зависимости от почвенного фона

Fig. 2. Productive characters shown by barley plants of cv. '999-93' and its regenerants under the conditions of the growth experiment depending on soil backgrounds

ций не только от концентрации ионов в корнеобитаемой среде, но и от генетической специфики растений. Выращивание в почве с высоким содержанием подвижного кадмия привело к проявлению у растений приспособительных реакций, направленных на снижение его фитотоксичности. В условиях заявленной кислотности провокационного фона относительно слабая средообразующая активность корней как исходного генотипа, так и его регенерантных линий (максимальное подщелачивание в зоне ризосферы не превышало $0,28 \pm 0,6$ ед. рН) не позволяла говорить о значительном вкладе данного механизма в ослабление ростингибирующего действия токсичных ионов (в рамках «стратегии избегания») и тем самым препятствовать поступлению в растительные ткани.

Высокое содержание кадмия в почве усиливало его накопление во всех органах растений по сравнению с контрольными условиями. На обоих почвенных фонах основную барьерную функцию по инактивации токсичных ионов выполняли корни и в меньшей степени стебли растений, препятствующие проникновению металла в регенеративные органы, что вполне согласуется с литературными данными подобных исследований. Роль корней в ограничении поступления токсичного металла в надземные органы возрастала в условиях стресса. В провокационных условиях растения-регенеранты RA_{cd} накапливали токсичные ионы по сравнению с исходным генотипом и другими регенерантными линиями в меньшем количестве во всех органах и, как следствие, имели наименьший суммарный вынос металла. Кроме того, барьерные функции корневых тканей RA_{cd}, задерживающих кадмий (93,4%), были выражены в большей степени по сравнению с другими генотипами. В отсутствии почвенных стрессоров существенных различий между генотипами не выявлено.

Избыток кадмия в почве тормозил транслокацию цинка в растения ячменя, что вполне объясняется взаимозамещением этих металлов в метаболических процессах. На обоих почвенных фонах содержание цинка в растительных тканях зависело от генотипа растений. Однако не выявлено четкой градации по значимости того или иного органа в аккумуляции цинка и наличия функциональных барьеров, препятствующих этому процессу. Растения-регенеранты RA_{cd} в наибольшей степени были способны нивелировать тормозящий эффект кадмия на аккумуляцию цинка. Кроме того, регенеранты RA_{cd} и RA_{пзг} характеризовались наименьшим выносом цинка в провокационных условиях. Однако именно эти генотипы основное количество поглощенного металла аккумулялировали в зерне, что имеет значение для сохранения качества зерновой продукции на почвах с цинковой недостаточностью.

Среди исследованных генотипов регенерантная линия RA_{cd} имела наибольшую устойчивость к кадмию. Адаптационные преимущества RA_{cd}, по-видимому, были обусловлены соматоклональной изменчивостью, возникающей при проведении ячменя через культуру изолированной ткани и отборе устойчивых каллусов на селективных средах с токсичностью кадмия. Активизация этого адаптационного механизма уже у регенерированных растений, а впоследствии регенерантных линий, обеспечило RA_{cd} повышенную способность к ограничению поступления токсичных ионов в растительные ткани и позволило в условиях стресса сохранить или минимально снизить развитие продуктивных признаков по сравнению с контролем, что в конечном итоге подтверждает

эффективность данной селективной системы *in vitro* в получении устойчивых к кадмию генотипов. У регенерантных линий, полученных в процессе клеточной селекции иной направленности, подобные преимущества в стрессовых условиях были в большинстве случаев недостоверными (RA_{Al}) или полностью отсутствовали (RA_{пзг}). Полученные результаты указывают на отсутствие приспособительных реакций неспецифического характера, связанных с повышением барьерных функций корней при поглощении кадмия регенерантами, полученными в процессе отборов *in vitro* со стрессорами другой природы.

Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого по теме № 0767-2019-0093 «Разработка и реализация фундаментальных научно-методических подходов мобилизации, изучения, создания (в том числе с использованием биотехнологий) и поддержания уникальных природных и экспериментальных генетических ресурсов яровых зерновых культур (пшеница, ячмень, овес); моделей сортов с повышенной продуктивностью и устойчивостью к действию стрессовых биотических и абиотических факторов, с улучшенными селекционно-ценными признаками; технологии управления продукционным процессом с учетом эдафических и биотических стрессовых факторов европейского Северо-Востока России, локального и глобального изменения климата для решения актуальных задач обеспечения импортозамещения и улучшения качества питания населения».

The work was done within the framework of the State Task delegated to the Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky, Project No. 0767-2019-0093 "Development and implementation of fundamental scientific and methodological approaches to mobilize, study, develop (including the use of biotechnology) and maintain unique natural and experimental genetic resources of spring cereal crops (wheat, barley, and oats); models of cultivars with increased productivity and resistance to biotic and abiotic stressor, with improved traits useful for breeding; technologies for managing the production process, taking into account edaphic and biotic stressors of the European Northeast of Russia, and local and global climate change, to solve urgent problems of ensuring import substitution and improving the quality of nutrition of the population".

References / Литература

- Belyaeva A.I. Resistance to the excess of heavy metals in cereal cultivars that differ in acidity resistance (Uстойчивость к избытку tyazhelykh metallo sortov khlebnnykh zlakov, otlichayushchikhsya po kisloutoychivosti). In: *Proceedings of the Annual Meeting of the Society of Plant Physiologists of Russia, International Scientific Conference "Physical and Chemical Mechanisms of Plant adaptation to Anthropogenic Pollution in the Far North."* (Apatity, June 07–11, 2009) (Sbornik materialov Godichnogo sobraniya Obshchestva fiziologov Rossii, Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Fiziko-khimochekiye mekhanizmy adaptatsii rasteniy k antropogennomu zagryazneniyu v usloviyakh Kraynego Severa" [Apatity, 07–11 iyunya 2009 g.]. Apatity; 2009. p.206-207. [in Russian] (Беляева А.И. Устойчивость к избытку тяжелых металлов

- сортов хлебных злаков, отличающихся по кислотоустойчивости. В кн.: *Сборник материалов Годичного собрания Общества физиологов растений России, Международной научной конференции «Физико-химические механизмы адаптации растений к антропогенному загрязнению в условиях Крайнего Севера» (Апатиты, 07–11 июня 2009 г.)*. Апатиты; 2009. С.206–207).
- Chetverikova N.S., Martsinevskaya L.V. Cadmium in agricultural landscapes forest-steppe zone of Central Chernozem Region. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2013;7:69–70. [in Russian] [Четверикова Н.С., Марциневская Л.В. Кадмий в агроландшафтах лесостепной Зоны ЦЧО. *Достижения науки и техники АПК*. 2013;7:69–70).
- Collection of methods for measuring mass concentration of copper, lead, cadmium, zinc, bismuth, manganese, nickel and cobalt ions by voltammetry on the Ecotest-VA voltammetric analyzer (Sbornik metodik izmereniy massovoy kontsentratsii ionov medi, svintsa, kadmiya, tsinka, vismuta, margantsa, nikelya i kobalta metodom voltampermetrii na voltampermetricheskom analizatore "Ecotest-VA"). Moscow; 2004. [in Russian] (Сборник методик измерений массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия, цинка, висмута, марганца, никеля и кобальта методом вольтамперометрии на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА». Москва; 2004).
- Đalović I.G., Maksimović I.V., Kastori R.R., Jelić M. Ž. Mechanisms of adaptation of small grains to soil acidity. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke = Matica Srpska Journal for Natural Sciences*. 2010;118:107–120. DOI: 10.2298/ZMSPN1018107D
- Gorban D.N., Yurgenson G.A. Lead in system the soil – plant in the landscape of the Sherlovogorsky mining area on the example of *Polygonum angustifolium* Pallas (Polygonaceae). *Advances in Current Natural Sciences*. 2016;12(2):375–379. [in Russian] [Горбань Д.Н., Юргенсон Г.А. Свинец в системе почва – растение в ландшафте Шерловогорского горнорудного района на примере *Polygonum angustifolium* Pallas (Polygonaceae). *Успехи современного естествознания*. 2016;12(2):375–379).
- Gordeev A.V., Romanenko G.A. (eds). Problems of degradation and productivity restoration of agricultural lands in Russia (Problemy degradatsii i vosstanovleniya produktivnosti zemel selskokhozyaystvennogo naznacheniya v Rossii). Moscow; 2008. [in Russian] [Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России / под ред. А.В. Гордеева, Г.А. Романенко. Москва; 2008].
- GOST 26483-85. Soils. Preparation of salt extract and determination of its pH by CINA method. Moscow: Standards Publishing House; 1985. [in Russian] [ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов; 1985]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023490> [дата обращения: 01.06.2020].
- Jaleel C.A., Manivannan P., Wahid A., Farooq M., Al-Juburi H.J., Somasundaram R. et al. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2009;11(1):100–105.
- Kaznina N.M., Titov A.F. The influence of cadmium on physiological processes and productivity of Poaceae plants. *Advances in Current Biology*. 2013;133(6):588–603. [in Russian] [Казнина Н.М., Титов А.Ф. Влияние кадмия на физиологические процессы и продуктивность растений семейства Poaceae. *Успехи современной биологии*. 2013;133(6):588–603].
- Kosareva I.A. The study of crops and wild relatives collections for signs of resistance to toxic elements of acid soils. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2012;170:34–44. [in Russian] [Косарева И.А. Изучение коллекции сельскохозяйственных культур и диких родичей по признакам устойчивости к токсическим элементам кислых почв. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012;170:34–44].
- Kuznetsov A.V., Fesyun A.P., Samokhvalov S.G., Makhonko E.P. Guidelines for the determination of heavy metals in farmland soils and crop production (Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvakh selkhozugodiy i produktivnykh rasteniyevodstva). Moscow; 1992. [in Russian] [Кузнецов А.В., Фесюн А.П., Самохвалов С.Г., Махонько Э.П. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. Москва; 1992].
- Lisitsyn E.M., Shikhova L.N. Modification of barley's pigment complex structure by ions of lead and cadmium. *Agrarian Journal of Upper Volga Region*. 2016;(3):30–36. [in Russian] [Лисицын Е.М., Шихова Л.Н. Модификация структуры пигментного комплекса ячменя ионами свинца и кадмия. *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2016;(3):30–36].
- Nagajyoti P.C., Lee K.D., Sreekanth T.V.M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: A review. *Environmental Chemistry Letters*. 2010;8(3):199–216. DOI: 10.1007/s10311-010-0297-8
- Rizwan M., Ali S., Ur Rehman M.Z., Maqbool A. A critical review on the effects of zinc at toxic levels of cadmium in plants. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;26(7):6279–6289. DOI: 10.1007/s11356-019-04174-6
- Sakellariou M., Mylona P.V. New uses for traditional crops: The case of barley biofortification. *Agronomy*. 2020;10(12):1964. DOI: 10.3390/agronomy10121964
- Seregin I.V., Kozhevnikova A.D., Zhukovskaya N.V., Schat H. Cadmium tolerance and accumulation in *Excluder Thlaspi arvense* and various accessions of hyperaccumulator *Nocca caerulescens*. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2015;62(6):837–846. DOI: 10.1134/S1021443715050131
- Shchennikova I.N. Models of spring barley's varieties for conditions of Volga-Vyatka region. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2015;6(49):9–13 [in Russian] [Щенникова И.Н. Модели сортов ярового ячменя для условий Волго-Вятского региона. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2015;6(49):9–13].
- Shikhova L.N., Egoshina T.L. Heavy metals in soils and plants of the North-East of European Russia (Tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh Severo-Vostoka yevropeyskoy chasti Rossii). Kirov; 2004. [in Russian] [Шихова Л.Н., Егошина Т.Л. Тяжелые металлы в почвах и растениях Северо-Востока европейской части России. Киров; 2004].
- Shupletsova O.N., Ogorodnikova S.Yu., Nazarova Ya.I. Effects of nonspecific resistance of barley genotypes obtained by cell selection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(4):192–199. [in Russian] [Шуплецова О.Н., Огородникова С.Ю., Назарова Я.И. Эффекты неспецифической устойчивости гено-

пов ячменя, полученных путем клеточной селекции. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(4):192-199. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-192-199

Sokolova T.A., Tolpeshta I.I., Trofimov S.Ya. Soil acidity. Acid-base soil buffering. Aluminum compounds in the solid phase of the soil and in the soil solution (Pochvennaya kislotnost. Kislотно-основная bufernost pochvy. Soyedineniya alyuminiya v tverdoy faze pochvy i v pochvennom rastvore). 2nd ed. Tula: Grif & Co.; 2012. [in Russian] (Соколова Т.А., Толпешта И.И., Трофимов С.Я. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и в почвенном растворе. 2-е изд. Тула: Гриф и К; 2012). URL: <http://soil.msu.ru/attachments/arti->

[cle/1366/Почвенная%20кислотность.pdf](http://soil.msu.ru/attachments/article/1366/Почвенная%20кислотность.pdf) [дата обращения: 27.07.2020].

Titov A.F., Kaznina N.M., Talanova V.V. Heavy metals and plants (Tyazhelye metally i rasteniya). Petrozavodsk; 2014. [in Russian] (Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск; 2014).

Tovstik E.V., Popova A.A., Shupletsova O.N. Accumulation of zinc and cadmium in barley plants obtained by the cellular selection method. *Ecobiotech*. 2020;3(2):292-297. [in Russian] (Товстик Е.В., Попова А.А., Шуплецова О.Н. Накопление цинка и кадмия в растениях ячменя, полученных методом клеточной селекции. *Экобиотех*. 2020;3(2):292-297). DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-2-292-297

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Шуплецова О.Н., Товстик Е.В. Аккумуляция кадмия и цинка регенерантами ячменя на провокационном почвенном фоне с кадмием. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(4):117-125. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-117-125

Shupletsova O.N., Tovstik E.V. Accumulation of cadmium and zinc in barley regenerants on a provocative soil background with cadmium. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):117-125. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-117-125

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-117-125>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Shupletsova O.N. <https://orcid.org/0000-0003-4679-0717>

Tovstik E.V. <https://orcid.org/0000-0003-1861-6076>

Алюмоустойчивость пивоваренного ячменя

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-126-131



УДК 633.162:58.051

Поступление/Received: 08.04.2021

Принято/Accepted: 19.08.2021

О. В. ЯКОВЛЕВА

O. V. YAKOVLEVA

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
✉ oly.yakovleva@mail.ru

N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
✉ oly.yakovleva@mail.ru

Актуальность. Ячмень является второй по значимости и объемам производства зерновой культурой в России, которая используется в пищевых, кормовых и технических целях. Производство пивоваренного ячменя в нашей стране составляет более 1,5 млн т; каждый год площади посевов увеличиваются на 10–15% и доходят до 600–800 тыс. га. Ячмень, пригодный для пивоварения, должен иметь определенные физико-химические и технологические свойства. Основные требования, предъявляемые к сырью, представлены в ГОСТ 5060-86 «Ячмень пивоваренный». Важным условием получения устойчивых урожаев является создание и использование сортов, устойчивых к комплексу эдафических стрессоров. Цель работы – поиск устойчивых сортов для использования в направленной селекции.

Материалы и методы. Материалом для исследования служил 161 сорт ярового ячменя пивоваренного направления из коллекции генетических ресурсов растений ВИР. Лабораторную оценку алюмотолерантности образцов ячменя проводили на начальных фазах роста и развития с использованием метода расчета индексов длины корня и ростка.

Результаты и выводы. Среди пивоваренных ячменей из различных эколого-географических групп выделены сорта, устойчивые к ионам Al^{3+} . Изменчивость признака как по индексу длины корня (0,17–0,95), так и по индексу длины ростка (0,47–0,99) имеет широкий диапазон. Сорта с высокой устойчивостью к ионному (Al^{3+}) стрессу могут быть использованы в селекции высокопродуктивных и наиболее адаптированных к вредным факторам окружающей среды сортов пивоваренного ячменя.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., токсичные ионы алюминия, засухоустойчивость, алюмотоксичность.

Background. Barley is the second cereal crop in Russia in terms of its importance and production volume. It is used for food, feed, and industrial purposes. The production of malting barley in Russia exceeds 1.5 million tons; each year the area under this crop increases by 10–15%, reaching 600,000–800,000 hectares. Barleys suitable for brewing must have certain physicochemical and technological properties. The main requirements for raw materials are presented in GOST 5060-86 (state standard for malting barley). An important condition for obtaining sustainable harvests is the development and utilization of cultivars resistant to a set of edaphic stressors. The purpose of this work was searching for resistant cultivars for use in targeted breeding.

Materials and methods. The material for the study included 161 spring barley cultivars for brewing from the collection of plant genetic resources held by VIR. The laboratory assessment of aluminum tolerance in barley accessions was carried out at the initial phases of plant growth and development, using the method of calculating root and shoot length indices. The tested malting barley was classified into five resistance groups.

Results and conclusions. Cultivars resistant to Al^{3+} ions were identified among different ecogeographic groups of malting barleys. The trait had a wide range of variability in terms of both the root length index (0.17–0.95) and shoot length index (0.47–0.99). Accessions with high resistance to ionic (Al^{3+}) stress can be used in barley breeding targeted at the development of high-yielding malting cultivars most adapted to harmful environmental factors.

Key words: *Hordeum vulgare* L., toxic aluminum ions, drought resistance, aluminum toxicity.

Введение

Ячмень – вторая по значимости и объемам производства зерновая культура в России, которая используется в пищевых, кормовых и технических целях. Зерно ячменя содержит в среднем 65–68% углеводов, 8–16% белка, 2–5% жира и 2–3% минеральных веществ (Meledina, 2003). Производство пива и пивных напитков в России в 2020 г. выросло на 3,3% по сравнению с 2019 г. и составило 795 млн дал (Russian market..., 2020).

Производство пивоваренного ячменя в нашей стране составляет более 1,5 млн т; каждый год площади посевов

увеличиваются на 10–15% и доходят до 600–800 тыс. га. Ячмень, пригодный для пивоварения, должен иметь определенные физико-химические и технологические свойства (Belokurova, 2019; Belokurova et al., 2015; Dontsova et al., 2016).

Основные требования, предъявляемые к пивоваренному ячменю при производстве и поставках сырья, представлены в ГОСТ 5060-86 «Ячмень пивоваренный» (ГОСТ 5060-86..., 2010). Цвет, форма, крупность зерновки, пониженная пленчатость и оптимальная влажность зерна являются первичными признаками при оценке пивоваренного ячменя. Химические показатели зерна ячменя для производства пива регламентируются ГОСТ 29294-2014

(GOST 29294-2014..., 2016) на солод пивоваренный. Наиболее важными считаются содержание белка и экстрактивность. При оценке зернового материала несоответствие каких-либо показателей установленным требованиям снижает категорию сырья до кормового использования.

В пивоварении в основном используется зерно двурядного ячменя, выровненное, с низкой пленчатостью и мучнистым эндоспермом. Ячмень рекомендуется возделывать в зонах умеренно континентального климата со среднегодовым количеством атмосферных осадков от 450 до 650 мм и суммой активных температур (более 10°C) 1600–4000 градусо-градусов.

Высококачественный пивоваренный ячмень можно вырастить на дерново-подзолистых, дерново-карбонатных, серых лесных почвах и черноземах. Более пригодными считаются среднетяжелые, суглинистые, суглинисто-песчаные по механическому составу почвы с достаточным количеством легкоусвояемых питательных веществ. Легкие песчаные и супесчаные почвы с высокой водопроницаемостью и пониженным естественным плодородием, заболоченные почвы с близким расположением грунтовых вод, торфяники и кислые почвы с низким рН раствора не пригодны для выращивания ячменя на пиво. На тяжелых глинистых почвах при образовании почвенной корки затрудняется прорастание семян, нарушается воздухообмен, угнетается развитие корневой системы ячменя (Gluhovtsev, Drovalyeva, 2011; Romanova et al., 2014).

При возделывании пивоваренного ячменя необходимо учитывать агрохимические показатели почв. Почвы с благоприятным водно-воздушным режимом, с $pH_{КС1} = 6,0-7,5$, содержанием гумуса в пахотном горизонте 2,0–3,0% и более, подвижными элементами P_2O_5 и K_2O больше 100–150 мг/кг считаются самыми лучшими для посевов ячменя. Снижение качества продукции при повышенной кислотности и высоком содержании токсичных ионов Al^{3+} в почве изменяет категорию ячменного сырья.

Соблюдение агротехники возделывания культуры, известкование кислых почв и оптимальный подбор сортов должны способствовать получению высоких урожаев ячменя с улучшенными пивоваренными качествами (Belyankina, 2007; Titova, Vnukova, 2008; Ermilov, 2019).

Пригодность разных типов почв для выращивания пивоваренного ячменя зависит от количества осадков, водного режима, водообеспеченности и водопроницаемости почвы. Весенне-летние засухи, в особенности с недостатком влаги в конце вегетационного периода, отри-

цательно влияют на развитие растений, снижая урожайность и технологические свойства зерновой продукции. В основных районах выращивания пивоваренного ячменя, где лимитирующим фактором являются высокие температуры воздуха и небольшое количество осадков, необходимо использовать засухоустойчивые сорта.

Площади кислых почв в рекомендованных регионах возделывания ячменя постоянно увеличиваются, особенно они распространены в Нечерноземной зоне и Приморском крае. В кислых почвах с высоким содержанием неорганических веществ главным фактором, ограничивающим нормальное развитие растений, является фитотоксичность ионов Al^{3+} (Yakovleva, 2018). Решение этой проблемы – создание продуктивных сортов с высокой адаптивностью и комплексной устойчивостью к неблагоприятным факторам среды.

Целью нашего исследования была оценка алюмоустойчивости пивоваренных сортов для использования в направленной селекции ячменя.

Материалы и методы

Образцы пивоваренного ячменя отечественной и зарубежной селекции подобраны по географическому происхождению; многие из них были включены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации в разные годы. Так, на 2020 г. было включено 229 сортов ярового ячменя, среди которых 57 считаются пивоваренными, а 27 являются пивоваренными и ценными по качеству (State Register..., 2020).

Устойчивость к токсичным ионам алюминия (Al^{3+}) тестировали у 161 образца ярового ячменя *Hordeum vulgare* L. пивоваренного направления из коллекции генетических ресурсов растений ВИР (табл. 1). Для выращивания пивоваренного ячменя в соответствии с ГОСТ 5060-86 в России определены следующие регионы: Северо-Западный, Центральный, Центрально-Черноземный, Средне- и Нижневолжский, Дальневосточный. Изучаемые нами образцы ячменя относятся именно к этим российским регионам, а также к странам ближнего и дальнего зарубежья.

Алюмоустойчивость образцов ячменя определяли на ранних этапах развития растений методом расчета индексов длины корня и ростка (Yakovleva et al., 2009). В течение двух суток в термостате, без освещения, при $t = 24-25^\circ C$ семена изучаемых образцов проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге в дистиллированной воде. Затем в растительные с сетчатым дном, разделенные

Таблица 1. Происхождение исследуемых образцов ячменя

Table 1. Origin of the studied barley accessions

Страна, регион	Изучено-образцов
Россия: Северо-Западный, Центральный, Центрально-Черноземный, Волго-Вятский, Средне- и Нижневолжский, Северо-Кавказский, Уральский, Западно- и Восточно-Сибирский, Дальневосточный	27 15 12
Страны Балтии, Белоруссия, Украина, Казахстан	23
Западная Европа	80
США, Австралия	4
Всего:	161

на ячейки, раскладывали по 25–30 равномерно проросших семян каждого образца. Растильни помещали в пластмассовые контейнеры с дистиллированной водой (объем 9 литров, pH = 6,5). На уровне растений поддерживался определенный температурный ($t = 20\text{--}22^\circ\text{C}$) и световой режим (освещенность 5 клк / 16 ч). Растильни накрывали полиэтиленовой пленкой, которую снимали на третьи сутки. Затем воду в контейнерах меняли на водный раствор с содержанием ионов Al^{3+} 185 мкМ и pH = 4,0. Для приготовления раствора использовали хлорид алюминия шестиводный – ($\text{AlCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$). В качестве контроля использовали дистиллированную воду с pH = 6,5 без ионов Al^{3+} . Измерение pH растворов проводили каждые сутки и при необходимости доводили до соответствующего значения 0,25 М раствором серной кислоты или 1 N раствором щелочи. Дополнительно в каждую растильню закладывали сорта-тестеры с известной устойчивостью: 'Московский 121' (к-19417, ИДК 0,63) и 'Полярный 14' (к-15619, ИДК 0,76). На седьмые сутки после воздействия алюминия одновременно измеряли длину зародышевых корней и ростка. По окончании эксперимента проводили математическую обработку полученных данных. В каждом варианте опыта рассчитывали среднее арифметическое длины корней и ростка. Затем для каждого образца определяли индекс длины корня (ИДК), равный соотношению средней длины корня в опыте [А] к средней длине корня в контроле [В]: ИДК = А / В. Подобным образом определяли и индекс длины ростка (ИДР).

На основании полученных значений ИДК и ИДР образцы ячменя распределили на пять групп устойчивости к ионам Al^{3+} (Yakovleva, Kovaleva, 2015). Шкала устойчивости представлена таким образом:

- 1 – ИД > 0,81 – высокоустойчивые;
- 2 – ИД 0,61–0,80 – устойчивые;
- 3 – ИД 0,41–0,60 – среднеустойчивые;
- 4 – ИД 0,31–0,40 – среднечувствительные;
- 5 – ИД < 0,30 – неустойчивые.

Результаты и обсуждение

Среди 161 сорта пивоваренного ячменя, относящегося к разным эколого-географическим группам, выделены образцы, устойчивые к ионам алюминия. Выявлен большой диапазон изменчивости признака как по индексу длины корня (0,17–0,95), так и по индексу длины ростка (0,47–0,99).

После распределения образцов по группам устойчивости выделено две относящиеся к пятой группе, неустойчивые к стрессу формы (1,4% от общего числа изученных) (табл. 2). К токсичным ионам алюминия (ИДК > 0,81) были высокоустойчивы 19 образцов ячменя (11,6%). Наиболее устойчив (ИДК 0,95) образец к-31241 ('Quench', Дания), его корни почти не реагировали на воздействие тестирующей концентрации 185 мкМ Al^{3+} .

Западноевропейские ячмени представлены в основном сортами из Германии (31), Чехии (14) и Франции (16 сортов). Эти страны традиционно занимаются селекцией пивоваренных ячменей и производством пива. Высокими пивоваренными качествами отличаются чешские и немецкие сорта ячменя.

По уровню устойчивости к подвижным ионам Al^{3+} наибольшие различия отмечены нами именно у чешских ячменей. Индекс длины корня этих образцов колебался в пределах 0,39–0,98, индекс длины ростка – 0,63–0,99. Самые большие корневые индексы были у сортов 'Дитта'

Таблица 2. Распределение ячменя по группам устойчивости

Table 2. Distribution of barley accessions among resistance groups

Группа устойчивости	Частота образцов, %
значение индекса длины корня	
1	11,6 ± 1,76
2	42,4 ± 0,97
3	31,5 ± 1,03
4	13,0 ± 1,97
5	1,4 ± 1,15
значение индекса длины ростка	
1	84,4 ± 2,73
2	12,3 ± 1,21
3	3,2 ± 0,75
4	–
5	–

(к-30938), 'Толар' (к-30929) и 'Nordus' (к-30941), которые отнесены к группе высокоустойчивых образцов (табл. 3).

Дополнительно было изучено варьирование размеров ростка при концентрации 185 мкМ Al^{3+} . Полученный индекс позволил распределить образцы на три группы (см. табл. 2). Более 80% образцов относятся к первой группе самых устойчивых. На стрессовом фоне с подвижным алюминием развитие ростка этих форм почти не отличалось от развития ростка в контроле.

У 16 сортов пивоваренного ячменя отмечена высокая степень устойчивости по показателям длины корня и ростка (см. табл. 3). К ним относятся сорта из Московской области 'Раушан' (к-30592) и 'Владимир' (к-30981), 'Луч' (к-21789, Кировская область), 'Красноярский 80' (к-27102, Красноярский край), 'Приморский 98' (к-30778, Приморский край) и другие. Среди зарубежных сортов можно отметить 'Quench' (к-30973, Дания), 'Xanadu' (к-30973, Германия), 'Марни' (к-31044, Германия), 'Nordus' (к-30941, Чехия).

Основные площади посевов пивоваренного ячменя в нашей стране расположены в зонах неустойчивого и недостаточного увлажнения. В каждой климатической зоне наблюдаются свои особенности распределения осадков в течение вегетации (Yakovlev et al., 2017). Так, в засушливых условиях Центрально-Черноземной зоны необходимо накопление максимального количества влаги в начале вегетационного периода (Filippov et al., 2016). В Средневолжском и Нижневолжском регионах наблюдаются устойчивые летние засухи, угнетающие рост и развитие растений.

Для получения ячменя с хорошими пивоваренными качествами важна не только обеспеченность влагой в определенные фазы онтогенеза, большое значение имеют тип и подтип почвы под посевами, соблюдение агротехники возделывания культуры (Titova et al., 2008). Решением проблемы может стать использование засухо-

Таблица 3. Устойчивость пивоваренного ячменя к токсичным ионам алюминия

Table 3. Resistance of malting barley to toxic aluminum ions

№ по каталогу ВИР	Сорт	Происхождение	Индекс длины	
			корня	ростка
30591	Рахат	Россия, Московская обл.	0,75	0,98
30592	Раушан	"	0,85	0,90
30803	Михайловский	"	0,76	0,88
30820	Нур	"	0,97	0,71
30981	Владимир	"	0,88	0,91
21789	Луч	Россия, Кировская обл.	0,88	0,92
30982	Велес	Россия, Белгородская обл.	0,79	0,81
30242	Скиф	Россия, Самарская обл.	0,68	0,88
29902	Зерноградский 344	Россия, Ростовская обл.	0,73	0,86
30918	Омский 91	Россия, Омская обл.	0,65	0,95
27102	Красноярский 80	Россия, Красноярский край	0,82	0,94
30778	Приморский 98	Россия, Приморский край	0,98	0,94
31173	Талер	Беларусь	0,81	0,99
31326	Радимич	"	0,65	0,97
30965	Гетьман	Украина	0,84	0,93
31241	Quench	Дания	0,95	0,92
27417	Dera	Германия	0,82	0,94
30973	Xanadu	"	0,93	0,91
31044	Марни	"	0,92	0,92
31322	Stratus	Польша	0,69	0,99
27346	Rubin	Чехия	0,84	0,92
30929	Tolar	"	0,88	0,93
30931	Prestige	"	0,82	0,95
30938	Ditta	"	0,87	0,96
30941	Nordus	"	0,98	0,93
31278	Себастьян	"	0,72	0,94

устойчивых сортов пивоваренного ячменя. Сочетание устойчивости к токсичным ионам алюминия и засухе весьма актуально для отдельных регионов выращивания ячменя (Eroshenko, 2009).

Исследования засухоустойчивости ячменя проводятся в различных климатических зонах в полевых и лабораторных условиях, при этом выделяют образцы с различным уровнем устойчивости (Kazakova, Gaydash, 2007; Filippov et al., 2013; Filippov, Dontsova, 2016; Pakul et al., 2016; Cai et al., 2020).

Высокая засухоустойчивость отмечена у сортов ячменя отечественной селекции: 'Скиф' (к-30242), 'Волгарь'

(к-29831), 'Зерноградский 344' (к-29902), 'Приазовский 9' (к-30595), а также 'Талер' (к-31173, Беларусь), 'Одесский 115' (к-26864, Украина) и 'Носовский 9' (к-20470, Украина) (Mousalitin et al., 2016; State Register..., 2020). Сорта зарубежной селекции из Германии 'Xanadu' (к-30973) и 'Messina' (к-30967), 'Quench' (к-30973, Дания), 'Stratus' (к-31322, Польша) считаются высокоустойчивыми к действию засухи.

Нами выделены сорта пивоваренного ячменя 'Quench' (к-30973, Дания) и 'Xanadu' (к-30973, Германия), сочетающие высокую устойчивость к засухе и токсичным ионам Al³⁺.

Заключение

Весь изученный нами сортимент пивоваренных ячменей различался большим разнообразием по уровню алюмоустойчивости. С использованием лабораторных методов тестирования выделены образцы с различной реакцией корней и роста на ионный стресс в ювенильной фазе развития растений. Генотипы с высокой устойчивостью к ионному (Al^{3+}) стрессу могут быть использованы в селекции высокопродуктивных и наиболее адаптированных к вредным факторам окружающей среды сортов пивоваренного ячменя.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2020-0006 "Search for and viability maintenance, 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".

References / Литература

- Belokurova E.S. Malting barley (Yachmen pivovarenyy). St. Petersburg: Lan; 2019. [in Russian] (Белокурова Е.С. Ячмень пивоваренный. Санкт-Петербург: Лань; 2019).
- Belokurova E.S., Borisova L.M., Pankina I.A. The methodology for determining the activity of malting barley germination. *Scientific Journal NRU ITMO. Series: Processes and Food Production Equipment*. 2015;2:18-23. [in Russian] (Белокурова Е.С., Борисова Л.М., Панкина И.А. Методология определения активности прорастания ячменя пивоваренного. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*. 2015;2:18-23).
- Belyankina N.G., Datsyuk P.V., Semenova E.I. Formation and development of the malting barley market (Formirovaniye i razvitiye rynka pivovarennogo yachmenya). Moscow: RAKO; 2007. [in Russian] (Белянкина Н.Г., Дацок П.В., Семенова Е.И. Формирование и развитие рынка пивоваренного ячменя. Москва: РАКО; 2007).
- Cai K., Chen X., Han Z., Wu X., Zhang S., Li Q. et al. Screening of worldwide barley collection for drought tolerance: the assessment of various physiological measures as the selection criteria. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:1159. DOI: 10.3389/fpls.2020.01159
- Dontsova A.A., Filippov E.G., Dontsov D.P., Ternovaya E.A. Barley production in Russia and in the world. *Grain Economy of Russia*. 2016;(6):7-13. [in Russian] (Донцова А.А., Филиппов Е.Г., Донцов Д.П., Терновская Е.А. Производство ячменя в мире и России. *Зерновое хозяйство России*. 2016;(6):7-13).
- Ermirov Yu.V. Features of malting barley cultivation technology (Osobennosti tekhnologii vozdeleyvaniya pivovarennogo yachmenya). *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya = Science and Education Development Trends*. 2019;47(4):61-64. [in Russian] (Ермилов Ю.В. Особенности технологии возделывания пивоваренного ячменя. *Тенденции развития науки и образования*. 2019;47(4):61-64).
- Eroshenko L.M. Selection of spring barley in Central Non-Black Earth soil surrounding of Russia. *Agrarian Reporter of South-East*. 2009;3(3):41-44. [in Russian] (Ерошенко Л.М. Селекция ярового ячменя в условиях Центрального Черноземья России. *Аграрный вестник Юго-Востока*. 2009;3(3):41-44).
- Filippov E.G., Dontsova A.A. Peculiarities of barley breeding on Don. *Grain Economy of Russia*. 2016;(1):47-52. [in Russian] (Филиппов Е.Г., Донцова А.А. Особенности селекции ячменя на Дону. *Зерновое хозяйство России*. 2016;1:47-52).
- Filippov E.G., Dontsova A.A., Dontsov D.P. New drought resistant varieties of spring barley. *Grain Economy of Russia*. 2013;(5):43-45. [in Russian] (Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П. Новые засухоустойчивые сорта ярового ячменя. *Зерновое хозяйство России*. 2013;(5):43-45).
- Gluhovtsev V.V., Drovalyeva N.V. Features of formation protein and its amino acid composition in summer barley grains depending on weather conditions in the Middle Volga region. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2011;6(2):120-123. [in Russian] (Глуховцев В.В., Дрвальева Н.В. Особенности формирования белка и его аминокислотного состава в зерне ярового ячменя в зависимости от погодных условий в Среднем Поволжье. *Вестник Казанского ГАУ*. 2011;6(2):120-123).
- GOST 29294-2014. Interstate standard. Brewing malt. General specifications. Moscow: Standartinform; 2016. [in Russian] (ГОСТ 29294-2014. Межгосударственный стандарт. Солод пивоваренный. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2016). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200114253> [дата обращения: 28.01.2021].
- 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: 27.01.2021].
- Kazakova A.S., Gaydash M.V. A method for selection of drought-resistant forms of barley (Sposob otbora zasukhoustoychivyykh form yachmenya). Russian Federation; patent number: RU 2302727 C2; 2007. [in Russian] (Казакова А.С., Гайдаш М.В. Способ отбора засухоустойчивых форм ячменя. Российская Федерация; патент № RU 2302727 C2; 2007). URL: <http://www.freepatent.ru/images/patents/165/2302727/patent-2302727.pdf> [дата обращения: 11.11.2020].
- Meledina T.V. Raw materials and auxiliary materials in brewing (Syrue i vspomogatelnye materialy v pivovarenii). St. Petersburg: Professiya; 2003. [in Russian] (Меледина Т.В. Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении. Санкт-Петербург: Профессия; 2003).
- Mousalitin G.M., Boradoulina V.A., Kouzikееv Z.V. Study of barley source material in the environments of Altai Territory. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2016;177(2):47-54. [in Russian] (Мусалитин Г.М., Борадулина В.А., Кузиков Ж.В. Изучение исходного материала ячменя в условиях Алтайского края. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2016;177(2):47-54). DOI: 10.30901/2227-8834-2016-2-47-54
- Pakul V.N., Martynova S.V., Androsov D.E. Sources of summer barley on drought resistance in the conditions the forest-steppe of Western Siberia. *International Research Journal*. 2016;2(44):102-106. [in Russian] (Пакуль В.Н., Мартынова С.В., Андросов Д.Е. Источники ярового

- ячменя по засухоустойчивости в условиях лесостепи Западной Сибири. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016;2(44):102-106). DOI: 10.18454/IRJ.2016.44.119
- Romanova I.N., Terentyev S.E., Knyazeva S.M., Glushakov S.N., Perepechay M.I. Productivity and grain quality of spring barley varieties and their applicability for brewing under conditions of the western part of the Nonblack Soil Zone. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2014;(11):27-30. [in Russian] (Романова И.Н., Терентьев С.Е., Князева С.М., Глушаков С.Н., Перепичай М.И. Урожайность и качество зерна сортов ярового ячменя, а также его пригодность на пивоваренные цели в условиях западной части Нечерноземья. *Достижения науки и техники АПК*. 2014;(11):27-30).
- Russian market of beer, malt and barley (Rossiyskiy rynek piva, soloda i yachmenya). Issue 2(4). Grainford LLC; 2020. [in Russian] (Российский рынок пива, солода и ячменя. Выпуск 2(4). ООО «Грейнфорд». 2020). URL: <https://www.beer-life.ru/rynok-piva-soloda-i-yachmenya-v-1-kv-2020.pdf> [дата обращения: 04.02.2021].
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1. "Plant varieties" (official publication). Moscow; Rosinformagrotekh; 2020. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2020). URL: https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2020/03/FIN_reestr_dop_12_03_2020.pdf [дата обращения: 27.01.2021].
- Titova E.M., Vnukova M.A. Productivity and quality of malting barley varieties (Produktivnost i kachestvo sortov pivovarennoy yachmenya). *Vestnik OrelGAU = Bulletin of Orel State Agrarian University*. 2008;3(12):5-8. [in Russian] (Титова Е.М., Внукова М.А. Продуктивность и качество сортов пивоваренного ячменя. *Вестник ОрелГАУ*. 2008;3(12):5-8).
- Yakovlev V.K., Pershakov A.Yu., Belkina R.I. Productivity and grain quality of malting barley in Northern Trans-Urals. *The Bulletin of KrasGAU*. 2017;12(135):10-15. [in Russian] (Яковлев В.К., Першаков А.Ю., Белкина Р.И. Продуктивность и качество зерна пивоваренных сортов ячменя в Северном Зауралье. *Вестник КрасГАУ*. 2017;12(135):10-15).
- 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., Kapeshinskiy A.M., Kovaleva O.N. Aluminum 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).
- Yakovleva O.V., Kovaleva O.N. Catalogue of the VIR global collection. Issue 824. Barley. Characteristics of barley samples for resistance to toxic aluminum ions ($H^+ + Al^{3+}$). St. Petersburg: VIR; 2015. [in Russian] (Яковлева О.В., Ковалева О.Н. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 824. Ячмень. Характеристика образцов ячменя по устойчивости к токсичным ионам алюминия ($H^+ + Al^{3+}$). Санкт-Петербург: ВИР; 2015).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The author declares the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

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. Aluminum resistance of malting barley. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):126-131. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-126-131

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-126-131>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Автор одобрил рукопись / The author approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Yakovleva O.V. <https://orcid.org/0000-0002-6537-0868>

Экологическая оценка сортов крыжовника челябинской селекции

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-132-136



УДК 634.2:631.5

Поступление/Received: 04.12.2020

Принято/Accepted: 19.08.2021

А. А. ВАСИЛЬЕВ, Ф. М. ГАСЫМОВ, Н. В. ГЛАЗ

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН, 620142 Россия, г. Екатеринбург, ул. Белинского, 112, корп. А
✉ kartofel_chel@mail.ru

Environmental assessment of gooseberry cultivars developed in Chelyabinsk Province

А. А. VASILIEV, F. M. GASIMOV, N. V. GLAZ

Ural Federal Agricultural Research Center, Ural Branch of the RAS, 112, bldg. A, Belinskogo St., Yekaterinburg 620142, Russia
✉ kartofel_chel@mail.ru

Анализ экологической пластичности и стабильности позволил выделить адаптивные сорта крыжовника: 'Авангард' (КА = 1,77), 'Владил' (КА = 1,58), 'Гринчел' (КА = 1,24), 'Ковчег' (КА = 1,13) и 'Арлекин' (КА = 1,01). Переданный в 2020 г. на государственное испытание сорт 'Гринчел' относится к интенсивным сортам ($b_i = 1,49$), сорта 'Арлекин' ($b_i = 1,03$; $S_i^2 = 4,1$) и 'Владил' ($b_i = 1,03$; $S_i^2 = 1,0$) являются экологически пластичными и стабильными, а сорта 'Авангард' ($b_i = 0,51$) и 'Ковчег' ($b_i = 0,53$) относятся к сортам нейтрального типа. Достоинством этих сортов является высокая продуктивность, крупноплодность, десертный вкус плодов, высокая зимостойкость, слабая шиповатость и повышенная устойчивость к американской мучнистой росе. Высокую продуктивность в годы с благоприятными и удовлетворительными условиями выращивания способны обеспечить интенсивные сорта 'Станичный' ($b_i = 1,55$) и 'Кооператор' ($b_i = 1,35$), а также пластичный, но недостаточно стабильный сорт 'Уральский изумруд' ($b_i = 1,03$; $S_i^2 = 5,3$).

Ключевые слова: ягодные культуры, урожайность, экологическая пластичность, стабильность, адаптивность.

The analysis of environmental plasticity and stability made it possible to identify adaptable gooseberry cultivars: 'Avangard' (CA = 1.77), 'Vladil' (CA = 1.58), 'Grinchel' (CA = 1.24), 'Kovcheg' (CA = 1.13) and 'Arlekin' (CA = 1.01). Cv. 'Grinchel', submitted for state trials in 2020, is an intensive-type cultivar ($b_i = 1.49$), cvs. 'Arlekin' ($b_i = 1.03$; $S_i^2 = 4.1$) and 'Vladil' ($b_i = 1.03$; $S_i^2 = 1.0$) are environmentally plastic and stable, while cvs. 'Avangard' ($b_i = 0.51$) and 'Kovcheg' ($b_i = 0.53$) belong to the neutral type. The advantages of these cultivars are their high productivity, large fruit size, dessert flavor, high winter hardiness, low thorniness, and increased resistance to American gooseberry mildew. High productivity in years with favorable and satisfactory growing conditions can be provided by the intensive-type cultivars 'Stanichny' ($b_i = 1.55$) and 'Kooperator' ($b_i = 1.35$) as well as the plastic but insufficiently stable cv. 'Uralsky Izumrud' ($b_i = 1.03$; $S_i^2 = 5.3$).

Key words: small fruit crops, yield, environmental plasticity, stability, adaptability.

Введение

Крыжовник относится к числу важнейших ягодных культур отечественного садоводства (Puin, 2007). В настоящий момент Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ, насчитывает 50 сортов крыжовника, в том числе 14 сортов челябинской селекции: 'Челябинский зеленый' (районирован в 1959 г.), 'Арлекин', 'Владил', 'Сенатор', 'Станичный' (1995), 'Берилл' (1998), 'Кооператор' (1999), 'Уральский изумруд' (2000), 'Уральский розовый' (2003), 'Шершневский' (2006), 'Конфетный' (2008), 'Народный' (2009), 'Яркий' (2018) и 'Ковчег' (2019).

Важнейшим условием успешного возделывания крыжовника на Южном Урале является использование адаптивных сортов, сочетающих высокую потенциальную продуктивность, зимостойкость, устойчивость к американской мучнистой росе (сферотеке) и обеспечивающих экологическую устойчивость агроценозов (Sysuev, 2015; Puin, 2016). Несомненное преимущество при этом получают экологически пластичные сорта, способные адаптироваться в различных эколого-географических условиях (Kurashev, Ozherelieva, 2014). Роль генотипа возрас-

тает в условиях глобального изменения климата, характеризующегося широкой вариацией биогенных и абиогенных лимитирующих факторов (Zhuchenko, 1980).

В садоводстве Южного Урала возделывают более 20 сортов крыжовника, в основном это сорта местной селекции. Однако до настоящего времени не дана оценка возделываемым сортам по параметрам экологической пластичности и стабильности.

Целью исследований являлась оценка сортов крыжовника челябинской селекции по продуктивности, экологической пластичности и стабильности в условиях Челябинской области.

Материал и методы исследования

Исследования выполнены в 2017–2020 гг. на базе Южно-Уральского научно-исследовательского института садоводства и картофелеводства – филиала ФГБНУ Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра УрО РАН (УрФАНИЦ УрО РАН).

Объектом исследования служили сорта крыжовника генетической коллекции плодово-ягодных культур отдела садоводства (перечень исследованных сортов

приведен в таблице 2). При проведении исследований руководствовались классической методикой (Кнуязев, Вауанова, 1999). Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа (Dospikhov, 1985). Оценку экологической пластичности сортов крыжовника проводили по методике И. А. Драгавцевой, Л. М. Лопатиной (Dragavtseva, Lopatina, 1999) и S. A. Eberhart, W. A. Russell в изложении В. А. Зыкина с соавторами (Zykin et al., 1984).

Результаты исследований

Погодные условия периода исследований характеризовались малоснежной зимой (максимальных значений высота снега достигала в марте 2017 и в феврале 2019 г.) с резкими колебаниями температуры от оттепелей к морозам, коротким весенним периодом с частыми заморозками и недостаточно влажным вегетационным периодом (табл. 1). Изученные сорта крыжовника в своем большинстве показали высокую степень зимостойкости. И только в условиях наиболее суровой зимы 2016/2017 г., когда температура воздуха в конце января опускалась до $-35,2^{\circ}\text{C}$ при высоте снежного покрова 12 см, отмечалось подмерзание растений крыжовника до 2,5 баллов у сортов 'Кооператор', 'Космический', 'Привлекательный', 'Станичный' и 'Шершневецкий'. В то же время растения сорта 'Авангард' практически не пострадали от морозов (0,5 балла), а у сортов 'Владил' и 'Ковчег' подмерзание не превышало 1 балла. Начало распускания почек отмечалось в III декаде апреля, цветение проходило во II-III декаде мая. Степень цветения у большинства наблюдаемых сортов была высокой (4–5 баллов). Весенние заморозки: 6 и 8 мая 2017 г. (интенсивностью от $-1,0$ до $-1,6^{\circ}\text{C}$), 2 и 6 мая 2018 г. (от $-2,3$ до $-3,0^{\circ}\text{C}$), 1 и 2 мая 2019 г. (от $-1,3$ до $-2,6^{\circ}\text{C}$) и 4 мая 2020 г. ($-0,7^{\circ}\text{C}$) не оказывали существенного влияния на урожайность крыжовника. И только поздний заморозок 30 мая 2017 г. снижал продуктивность поздноцветущих сортов крыжовника.

Наиболее благоприятные метеорологические условия для выращивания крыжовника отмечалась в 2018 и 2020 г., когда средняя урожайность изученных сортов составляла 6,81 и 6,74 т/га соответственно, а индекс среды (I_i) – 1,33 и 1,26. В условиях 2018 г. урожайность крыжовника варьировала в пределах от 2,80 до 8,53 т/га, а в 2020 г. – от 2,00 до 11,47 т/га. В 2020 г. наибольшая за годы исследований урожайность отмечалась у пяти сортов крыжовника: 'Авангард' (11,47 т/га), 'Владил' (10,40 т/га), 'Станичный' и 'Кооператор' (по 9,47 т/га), а также Уральский самоцвет' (6,80 т/га); в 2018 г. – у четырех сортов: 'Конфетный' (7,87 т/га), 'Космический' (7,47 т/га), 'Ковчег' (7,07 т/га) и 'Шершневецкий' (6,13 т/га) (табл. 2).

Погодные условия 2019 г. оцениваются как хорошие (при средней урожайности изученных сортов 5,97 т/га и индексе среды $I_i = 0,49$), а 2017 г. – как неблагоприятные для возделывания крыжовника (2,39 т/га и $I_i = -3,10$). В 2019 г. наибольшая за годы исследований урожайность ягод отмечалась у пяти сортов крыжовника: 'Гринчел' (10,53 т/га), 'Арлекин' и 'Берилл' (по 8,53 т/га), 'Уральский изумруд' (8,13 т/га) и 'Привлекательный' (6,13 т/га). В условиях 2017 г. у большинства сортов крыжовника (12 из 14) продуктивность была минимальной за годы наблюдений. Тем не менее три сорта сформировали достаточно высокий урожай плодов: 'Ковчег' – 3,87 т/га, 'Владил' – 4,80 т/га и 'Авангард' – 7,20 т/га.

Расчет коэффициента адаптивности помог выделить адаптивные сорта крыжовника, в наибольшей степени пригодные для возделывания в почвенно-климатических условиях Южного Урала. Высокой адаптивностью отличались сорта 'Авангард' (КА = 1,77), переданный на государственное испытание в 2010 г., и 'Владил' (КА = 1,58). Среди достоинств сорта 'Авангард' – высокая урожайность (до 8,5 кг/куст), крупноплодность (средняя масса ягоды – 3,3 г, максимальная – 6,5 г), десертный вкус плодов, высокая зимостойкость, слабая шиповатость побегов, повышенная устойчивость к американской мучни-

Таблица 1. Метеорологические условия периода исследований
(Челябинская обл., 2017–2020 гг.)

Table 1. Weather conditions during the period of studies
(Chelyabinsk Province, 2017–2020)

Показатели		Годы наблюдений				Многолетнее
		2017	2018	2019	2020	
Температура воздуха зимнего периода, $^{\circ}\text{C}$	минимальная	-35,2	-29,3	-34,1	-27,7	-36,4
	средняя	-13,8	-13,4	-13,5	-7,3	-14,3
	максимальная	5,0	2,0	-1,3	4,3	3,2
Высота снежного покрова, см	максимальная	46	27	43	35	40
	средняя	25,2	11,4	19,2	16,2	20
Весенние заморозки (май), $^{\circ}\text{C}$		-1,5	-3,0	-2,6	-0,7	-1,6
Сумма эффективных температур за вегетацию, $^{\circ}\text{C}$		2236	2170	2162	2429	2150
Сумма осадков, мм	за год	450	403	444	431	439
	за вегетацию	316	242	245	290	275
Гидротермический коэффициент вегетационного периода		1,41	1,11	1,13	1,19	1,21

Таблица 2. Урожайность и параметры пластичности сортов крыжовника в условиях Челябинской области, т/га**Table 2. Yield and plasticity parameters of gooseberry cultivars in Chelyabinsk Province, t/ha**

Сорт	Годы изучения				Среднее	Параметры	
	2017	2018	2019	2020		b_i	S_i^2
Авангард	7,20	8,40	6,67	11,47	8,43	0,51	5,2
Владил	4,80	8,53	9,07	10,40	8,20	1,08	1,0
Гринчел	2,00	8,40	10,53	7,47	7,10	1,49	5,1
Ковчег	3,87	7,07	6,67	4,93	5,63	0,53	1,5
Арлекин	2,00	5,60	8,53	6,40	5,63	1,03	4,1
Берилл	2,40	8,13	8,53	2,00	5,27	0,77	15,0
Уральский изумруд	1,47	6,40	8,13	4,40	5,10	1,03	5,3
Станичный	0,93	7,60	2,27	9,47	5,07	1,55	9,7
Кооператор	1,20	6,13	2,80	9,47	4,90	1,35	8,2
Шершневецкий	1,20	6,13	5,20	5,60	4,53	1,07	0,1
Уральский самоцвет	1,60	4,80	4,93	6,80	4,53	0,95	1,1
Космический	1,47	7,47	2,53	6,53	4,50	1,13	4,5
Конфетный	1,87	7,87	1,60	4,40	3,93	0,84	8,1
Привлекательный	1,47	2,80	6,13	5,07	3,87	0,66	3,9
Среднее	2,39	6,81	5,97	6,74	5,48	–	–
Индекс I_i	-3,09	1,33	0,49	1,26	–	–	–
НСР ₀₅	0,19	0,65	0,53	0,78	–	–	–

стой росе (Plyin, 2011). 'Владил' – почти бесшипный, высокопродуктивный (до 7,5 кг/куст), устойчивый к сферотеке сорт, привлекается в селекцию крыжовника в качестве комплексного донора семи адаптивно значимых признаков (включая зимостойкость) (Plyin, 2013). В число адаптивных сортов крыжовника также входят слабошиповатые, устойчивые к мучнистой росе сорта 'Арлекин' (КА = 1,01) и 'Ковчег' (КА = 1,13), районированные соответственно в 1995 и 2020 г., а также переданный в 2020 г. на государственное испытание сорт 'Гринчел' (КА = 1,28).

Следует отметить, что адаптивные сорта крыжовника являются межвидовыми гибридами. Сорта 'Владил' и 'Арлекин' получены с участием видов *Ribes grossularia* L. (источник крупноплодности и десертного вкуса ягод) и *R. robusta* (Jancz.) Berger (источник устойчивости к сферотеке). При создании сортов 'Авангард' и 'Гринчел' принимал участие третий вид – *R. hirtella* (Michx.) Sprach. (источник слабой шиповатости). Сорт 'Ковчег' – производная видов *R. grossularia* и *R. succirubra* (Zabel.) Berger (Plyin, 2016).

В условиях изменения климата, происходящего на нашей планете, особую ценность приобретают пластичные сорта с коэффициентом регрессии (b_i) близким к единице, и показателем стабильности (S_i^2) близким к нулю, а также интенсивные сорта с высокой отзывчивостью на улучшение условий выращивания, имеющие

коэффициент регрессии значительно больше единицы (Loginov, Kazak, 2015).

Оценка адаптивного потенциала выделенных сортов крыжовника показала, что сорт 'Гринчел' относится к сортам интенсивного типа ($b_i = 1,49$), сорта 'Арлекин' и 'Владил' характеризуются как экологической пластичностью ($b_i = 1,03$ и $1,08$), так и стабильностью урожая ($S_i^2 = 4,1$ и $1,0$ соответственно), тогда как сорта 'Авангард' ($b_i = 0,51$) и 'Ковчег' ($b_i = 0,53$) являются сортами нейтрального типа и слабо реагируют на изменение условий выращивания.

Оценивая показатели средней урожайности и коэффициента регрессии, можно прогнозировать поведение сортов при изменении условий выращивания в лучшую или худшую сторону. Например, нейтральный сорт 'Авангард' и пластичный сорт 'Владил' занимают первую и вторую позицию как в условиях благоприятных (2018 и 2020 г.), так и в стрессовых условиях (2017 г.). Интенсивный сорт 'Гринчел' в благоприятные годы находится на третьем месте по урожайности, а в 2017 г. опускается на пятое место в рейтинге. Экологически пластичный сорт 'Арлекин' стабильно показывает пятый-шестой результат, а в условиях 2019 г. даже перемещается на четвертую позицию. Следует отметить, что в удовлетворительных условиях 2019 г. адаптивные сорта крыжовника занимают первые пять мест по продуктивности (табл. 3).

Таблица 3. Теоретически возможная урожайность сортов крыжовника в условиях Челябинской области, т/га
Table 3. Theoretically possible yield of gooseberry cultivars under the conditions of Chelyabinsk Province, t/ha

Сорт	Годы изучения							
	2017		2018		2019		2020	
	т/га	ранг	т/га	ранг	т/га	ранг	т/га	ранг
Авангард	6,85	1	9,11	2	8,68	2	9,08	2
Владил	4,88	2	9,63	1	8,73	1	9,56	1
Гринчел	2,49	5	9,09	3	7,84	3	8,99	3
Ковчег	3,99	3	6,34	8	5,89	5	6,30	8
Арлекин	2,45	6	7,01	5	6,14	4	6,94	5
Берилл	2,88	4	6,29	9	5,65	7	6,24	9
Уральский изумруд	1,92	7	6,47	7	5,61	8	6,40	7
Станичный	0,29	14	7,12	4	5,83	6	7,02	4
Кооператор	0,72	13	6,70	6	5,57	9	6,61	6
Шершневицкий	1,22	11	5,96	11	5,06	10	5,89	11
Уральский самоцвет	1,60	9	5,80	12	5,00	12	5,73	12
Космический	1,00	12	6,01	10	5,06	11	5,93	10
Конфетный	1,34	10	5,05	13	4,35	13	5,00	13
Привлекательный	1,84	8	4,74	14	4,19	14	4,70	14

Нейтральный сорт 'Ковчег' в неблагоприятных условиях 2017 г. занимает третье место по урожайности, тогда как в благоприятных условиях 2018 и 2020 г. перемещается на восьмую позицию в рейтинге. Выше его по урожайности ягод располагаются интенсивные сорта крыжовника 'Станичный' ($b_i = 1,55$) и 'Кооператор' ($b_i = 1,35$), а также пластичный, но недостаточно стабильный, сорт 'Уральский изумруд' ($b_i = 1,03$; $S_i^2 = 5,3$). В стрессовых условиях 2017 г. на четвертое место по продуктивности поднимается пластичный и нестабильный сорт 'Берилл' ($b_i = 0,77$; $S_i^2 = 15,0$). Высокое значение среднеквадратичного отклонения от линии регрессии (S_i^2) при коэффициенте корреляции (b_i) близком к единице показывает, что урожайность сорта 'Берилл' в сильной степени зависит от погодных условий, но его реакция непредсказуема. Так, в благоприятных условиях 2020 г. произошло резкое снижение продуктивности сорта. Другими словами, несмотря на достаточно высокую среднюю урожайность (5,27 т/га), возделывание сорта 'Берилл' на Южном Урале не гарантирует получения стабильных урожаев.

Заключение

В условиях Челябинской области для формирования стабильных по годам урожаев крыжовника необходимо возделывать прежде всего адаптивные сорта этой культуры: новый интенсивный сорт 'Гринчел', экологически пластичные и стабильные сорта 'Арлекин' и 'Владил', сорта нейтрального типа 'Авангард' и 'Ковчег'. Высокую продуктивность в годы с благоприятными и удовлетворительными условиями выращивания обеспечивают интенсивные сорта 'Станичный' и 'Кооператор', а также

пластичный, но недостаточно стабильный сорт 'Уральский изумруд'. Ввиду отсутствия адаптивности три последних сорта резко снижают продуктивность в неблагоприятные годы. Важнейшим фактором, обеспечивающим высокий урожай крыжовника на Южном Урале, является зимостойкость возделываемых сортов и высота снежного покрова в морозные зимы.

References / Литература

- Dospikhov V.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспихов В.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Dragavtseva I.A., Lopatina L.M. Environmental plasticity of a variety and its study (Ekologicheskaya plastichnost sorta i yeye izucheniye). In: E.N. Sedov, T.P. Ogoltsova (eds). *Program and methodology of variety studies for fruit, berry and nut crops (Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur)*. Orel: VNIISPK, 1999. p.120-121. [in Russian] (Драгавцева И.А., Лопатина Л.М. Экологическая пластичность сорта и ее изучение. В кн.: *Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур* / под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Оrel: ВНИИСПК; 1999. С.120-121).
- Ilyin V.S. Gooseberry (Kryzhovnik). Chelyabinsk: Southern Ural Book Publishing House; 2007. [in Russian] (Ильин В.С. Крыжовник. Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство; 2007).
- Ilyin V.S. Results of gooseberry genetic collection use in the Southern Urals. *Contemporary Horticulture*. 2013;4(8):34-

40. [in Russian] (Ильин В.С. Результаты использования генетической коллекции крыжовника на Южном Урале. *Современное садоводство*. 2013;4(8):34-40).
- Ilyin V.S. The results of forty years of research on currants and gooseberries (Rezultaty sorokaletnikh issledovaniy po smorodine i kryzhovniku). *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2011;(5):46-49. [in Russian] (Ильин В.С. Результаты сорокалетних исследований по смородине и крыжовнику. *Достижения науки и техники АПК*. 2011;(5):46-49).
- Ilyin V.S. Thornless and resistant to American powdery mildew gooseberry varieties of Southern Urals breeding. *Horticulture and Viticulture*. 2016;(5):37-42. [in Russian] (Ильин В.С. Слабошиповатые и устойчивые к американской мучнистой росе сорта крыжовника южноуральской селекции. *Садоводство и виноградарство*. 2016;(5):37-42).
- Knyazev S.D., Bayanova L.V. Currant, gooseberry and their hybrids (Smorodina, kryzhovnik i ikh gibridy). In: E.N. Sedov, T.P. Ogoltsova (eds.). *Program and methodology of variety studies in fruit, berry and nut crops (Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur)*. Orel: VNIISPК; 1999. p.351-373. [in Russian] (Князев С.Д., Баянова Л.В. Смородина, крыжовник и их гибриды. В кн.: *Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой*. Оре́л: ВНИИСПК; 1999. С.351-373).
- Kurashev O.V., Ozherelieva Z.E. The development of gooseberry selections ecologically resistant to biotic and abiotic factors of the environment. *Contemporary Horticulture*. 2014;4(12):29-34. [in Russian] (Курашев О.В., Ожерельева З.Е. Создание экологически устойчивых к биотическим и абиотическим факторам среды форм крыжовника. *Современное садоводство*. 2014;4(12):29-34).
- Luginov Yu.P., Kazak A.A. Ecological plasticity of potatoes cultivars in Tyumen region. *Bulletin of Kemerovo State University*. 2015;1-4(61):24-28. [in Russian] (Логинов Ю.П., Казак А.А. Экологическая пластичность сортов картофеля в условиях Тюменской области. *Вестник Кемеровского государственного университета*. 2015;1-4(61):24-28).
- Sysuev V.A. The scientific priorities of northering of agricultural production in Russia. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2015;43:200-205. [in Russian] (Сысуйев В.А. Научные приоритеты осеверения сельскохозяйственного производства России. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2015;43:200-205).
- Zhuchenko A.A. Ecological genetics of cultivated plants (Экологическая генетика культурных растений). Kishinev; 1980. [in Russian] (Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений. Кишинев; 1980).
- Zykin V.A., Meshkova V.V., Saepa V.A. Ecological plasticity parameters of agricultural plants, their calculation and analysis: guidelines (Parametry ekologicheskoy plastichnosti selskhokhozyastvennykh rasteniy, ikh raschet i analiz: metodicheskiye rekomendatsii). Novosibirsk; 1984. [in Russian] (Зыкин В.А., Мешкова В.В., Сапега В.А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: методические рекомендации. Новосибирск; 1984).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Васильев А.А., Гасымов Ф.М., Глаз Н.В. Экологическая оценка сортов крыжовника челябинской селекции. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):132-136. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-132-136

Vasiliev A.A., Gasymov F.M., Glaz N.V. Environmental assessment of gooseberry cultivars developed in Chelyabinsk Province. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(4):132-136. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-132-136

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-132-136>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Vasiliev A.A. <https://orcid.org/0000-0002-7816-0624>

Gasymov F.M. <https://orcid.org/0000-0002-5738-0046>

Glaz N.V. <https://orcid.org/0000-0001-6480-2828>

Оценка эффективности введения образцов сои (*Glycine max* (L.) Merr.) из коллекции ВИР в культуру *in vitro*

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-137-142



УДК: 58.085

Поступление/Received: 06.03.2021

Принято/Accepted: 06.10.2021

Е. С. КОРШИКОВА^{1,2}, К. М. ЕРШОВА^{1,2},
Ю. А. МОКШЕНИНОВА^{1,3}, Ю. В. УХАТОВА^{1,2*}

Efficiency of *in vitro* culture techniques
applied to soybean (*Glycine max* (L.) Merr.)
accessions from the VIR collection

E. S. KORSHIKOVA^{1,2}, K. M. ERSHOVA^{1,2},
YU. A. MOKSHENINOVA^{1,3}, YU. V. UKHATOVA^{1,2*}

^{*1} Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
^{*} ✉ y.ukhatova@vir.nw.ru

^{*1} N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources (VIR),
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
^{*} ✉ y.ukhatova@vir.nw.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет,
199034 Россия, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

² Saint Petersburg State University,
7–9 Universitetskaya Emb.,
St. Petersburg 199034, Russia

³ Ленинградский государственный университет
имени А.С. Пушкина,
196605 Россия, г. Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское
шоссе, 10

³ Pushkin Leningrad State University,
10 Peterburgskoye Shosse,
Pushkin, St. Petersburg 196605, Russia

Соя – одна из самых востребованных индустрией сельскохозяйственных культур, однако применение методов селекции следующего поколения для получения новых сортов сои с заданными свойствами пока ограничено. Для успешного применения новых методик необходимы и новые направления изучения образцов коллекции, в частности изучение по способности к регенерации и каллусогенезу для последующего включения в биотехнологические программы.

С целью изучения возможности эффективного введения в культуру *in vitro* и проведения дальнейшей оценки способности образцов сои к каллусообразованию и регенерации в культуре *in vitro* выбраны 10 образцов различного происхождения, контрастных по срокам созревания. В ходе работы проводили оценку влияния различных приемов стерилизации семян (одноступенчатая, с применением коммерческого отбеливателя, и двухступенчатая, сочетающая воздействие хлор-содержащего препарата и перекиси водорода), оценивали влияние типа экспланта (эпикотили, гипокотили, семядольные узлы, сегменты семядольных листиков) и фитогормонального состава питательной среды: (1) МС + 1,13 мг/л БАП + 0,5 мг/л ГК и (2) МС + 1 мг/л БАП + 0,1 мг/л ИУК).

В результате проведенных исследований установлено, что вариант двухступенчатой стерилизации семян наиболее эффективен на этапе инициации культуры *in vitro* сои; гипокотили, эпикотили и семядольные узлы имеют наиболее высокую способность к каллусообразованию на обоих вариантах питательных сред.

Ключевые слова: регенерация, экспланты, стерилизация семян, каллусообразование.

Using a wide range of modern biotechnologies and genetic techniques to study plant germplasm accessions held by VIR makes it possible to procure valuable results, required for the development of new high-yielding cultivars adapted to adverse environmental conditions and possessing specified technological properties, particularly to identify and mark new genes and alleles useful for plant breeding. This research trend is in line with Presidential Decree No. 680 “Concerning the development of genetic technologies in the Russian Federation”. Soybean is among the key crops in agricultural production, but the use of next-generation breeding tools to obtain new soybean cultivars with desired properties is still limited. Successful application of novel methods also requires new approaches to studying soybean accessions, specifically their ability to regenerate and produce calluses for subsequent inclusion in biotechnological programs.

Ten soybean accessions of various origin, contrasting in ripening schedules, were selected to study the possibility of effective introduction into *in vitro* culture and further assessment of their ability to produce calluses and regenerate in *in vitro* culture. The work included evaluating the effects of different seed sterilization techniques (one-step sterilization, using a commercial bleach, and two-step one, combining the impacts of a chlorine-containing preparation and hydrogen peroxide), types of explants (epicotyls, hypocotyls, cotyledon nodes, and cotyledon leaf segments), and phytohormone composition of nutrient medium: (1) MS + 1.13 mg/L BAP + 0.5 mg/L HA, and (2) MS + 1 mg/L BAP + 0.1 mg/L IAA).

The assessment results showed that the option of two-step seed sterilization was the most effective for soybean at the stage of *in vitro* culture initiation, while hypocotyls, epicotyls, and cotyledon nodes had the highest callus formation ability in both types of nutrient media.

Key words: regeneration, explants, seed sterilization, callus formation.

Введение

На сегодняшний день в мировом производстве растительного белка и масла соя (*Glycine max* (L.) Merr.) является ведущей культурой (Seferova, Vishnyakova, 2018). Соя – растение короткого дня. Для продвижения к северу важна реакция на продолжительность фотопериода. Удлинение вегетации при более длинном световом дне сильно влияет на возможность осеверения культуры. При использовании методов традиционной селекции необходимо выявлять в генофонде наиболее скороспелые сорта со слабой чувствительностью к фотопериоду для возможности выращивания культуры в северных широтах. Такая работа по изучению коллекции образцов сои, имеющих различное эколого-географическое происхождение, с успехом ведется в отделе генетических ресурсов зернобобовых культур ВИР уже много лет (Seferova et al., 2008; Seferova, Novikova, 2015; Seferova, Vishnyakova, 2018), что позволило создать признаковую коллекцию образцов сои с низкой фотопериодической чувствительностью. Созданная коллекция образцов сои с изученной фотопериодической чувствительностью (ФПЧ) может быть использована для детальной оценки генов фотопериодической чувствительности молекулярно-генетическими методами.

Для получения растений с заданными свойствами в последние годы используют методы геномного редактирования, ведущие к изменению функционирования генов, что приводит к формированию новых генотипов в более сжатые сроки. Так, используя систему геномного редактирования CRISPR/Cas, можно получить высокопродуктивные генотипы сои для выращивания практически во всех климатических зонах, что будет экономически выгодным и приведет к решению проблемы возделывания данной культуры в более северных широтах по сравнению с существующими зонами возделывания сои (Kogotkova et al., 2017; Vinichenko et al., 2020).

У сои идентифицированы и охарактеризованы 12 локусов, контролирующих время цветения и созревания,

а также выявлены механизмы их функционирования и взаимодействия. Основная проблема возделывания сои в условиях укороченной длины дня тропических регионов – получение растений с признаками карликовости и полустерильности. Выявление признака длинного ювенильного периода (LJ) и идентификация генов, контролирующих его, позволили производить высокоурожайные сорта сои в регионах ниже 15° широты. При продвижении ареала возделывания сои в северные широты в условиях длинного дня сильно увеличивается продолжительность вегетационного периода и цветение может отсутствовать. Сорта сои, адаптированные к северным широтам, отличаются признаком нечувствительности к фотопериоду, который регулируется различными комбинациями аллелей локусов E1, E3 и E4. Выбор оптимальных условий *in vitro* позволит повысить уровень регенерации различных генотипов и вовлечь большее число образцов в развивающиеся программы генетического редактирования.

Цель настоящей работы – оценка эффективности инициации культуры *in vitro* и способности образцов сои к каллусообразованию в асептических условиях.

Материалы и методы

В качестве материала для исследования из коллекции ВИР выбраны 10 образцов сои различного происхождения, контрастных по срокам созревания. Использовали пять скороспелых ('Fiskeby V', 'Светлая', 'KG-20', 'Aldana', 'Касатка') и пять среднеспелых ('Александровская', 'Таджикская 9', 'Manchu' ('Lafayette'), '390-24', 'Sennari Musume') сортов сои (табл. 1). Для работ в культуре *in vitro* были взяты семена репродукции 2020 года.

Введение образцов сои в культуру *in vitro*

Оценку эффективности инициации стерильной культуры сои для дальнейшего изучения способности к регенерации и включения генотипов с наиболее высоким уровнем регенерационной способности в гено-инженерные эксперименты проводили в несколько этапов.

Таблица 1. Образцы сои коллекции ВИР, использованные для введения в культуру *in vitro*

Table 1. Soybean accessions from the VIR collection introduced into *in vitro* culture

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название образца / Accession name	Происхождение / Origin
5829	Fiskeby V	Швеция
9960	Светлая	Россия
10539	KG-20	Канада
0624	Aldana	Польша
1114	Касатка	Россия
4702	Александровская	Россия
6501	Таджикская 9	Таджикистан
6686	Manchu (Lafayette)	США
7235	390-24	Южная Корея
7589	Sennari Musume	Япония

На первом этапе подбирали способы стерилизации семян сои для эффективного введения в асептические условия.

Стерилизация семян

Семена подвергали тщательной поверхностной стерилизации. Для выбора оптимального варианта стерилизации сравнивали два различных способа, по 20 семян в каждом варианте:

1) 15-минутная стерилизация 15-процентным водным раствором отбеливателя «АСЕ» с последующей промывкой автоклавированной дистиллированной водой трижды по 10 мин (Dunaeva et al., 2017);

2) в качестве стерилизующего агента использовали 20-процентный водный раствор отбеливателя «АСЕ», в котором выдерживали семена 15 минут, затем промывали их автоклавированной дистиллированной водой трижды по 10 минут, после чего дополнительно стерилизовали 3-процентной перекисью водорода в течение 15 минут, и в завершение этапа стерилизации семена дважды промывали автоклавированной дистиллированной водой по 10 минут (Varlamova et al., 2018).

В стерильных условиях ламинара семена сои высаживали на питательную среду МС – Мурасиге и Скуга (Murashige, Skoog, 1962) с добавлением 2 мг/л БАП (Varlamova et al., 2018).

Оценка способности образцов сои к каллусогенезу

Для оценки регенерационной способности образцов сегменты стебля и семядоли высаживали горизонтально по 4 экспланта на чашку Петри (по 10–12 эксплантов на каждый изучаемый образец) на 1-2 недели.

Оценка влияния типа экспланта

Для оценки регенерационной способности образцов сои подбирали тип экспланта, наиболее эффективно формирующий каллус, из следующих вариантов: эпикотили, гипокотили, семядольные узлы, сегменты семядольных листиков (дистальные и базальные). Экспланты вычленили из проростков сои в возрасте 1,5–2 недель

в стерильных условиях и высаживали по 5–10 эксплантов каждого образца на чашки Петри.

Оценка влияния состава питательной среды на способность сои к каллусогенезу

Для оценки влияния состава регуляторов роста на регенерационные процессы сравнивали два варианта питательной среды МС:

1) МС + 1,13 мг/л БАП + 0,5 мг/л ГК (Efremova et al., 2017);

2) МС + 1 мг/л БАП + 0,1 мг/л ИУК (Varlamova et al., 2018).

Статистическая обработка

Для оценки различий между вариантами опыта вычисляли средние значения по трем независимым повторностям с подсчетом ошибки среднего. Статистическую обработку данных проводили с использованием методов описательной статистики. Влияние факторов «вариант стерилизации», «тип экспланта» и «питательная среда» оценивали методом однофакторного анализа. Существенные различия – при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты

Стерилизация семян

В результате подобранной методики стерилизации семян все образцы были успешно введены в культуру *in vitro* в трех повторностях в варианте двухступенчатой стерилизации (табл. 2). Отметим, что среднеспелые образцы в целом сложнее поддавались стерилизации.

Как видно из полученных данных, представленных в таблице 2, статистически ($p < 0,05$) наиболее эффективным способом стерилизации оказался вариант 2 – с применением двухступенчатой стерилизации.

Образцы были помещены в условия световой комнаты при температуре +23...+25°C с 16-часовым фотопериодом. Первые корешки появились уже на вторые-третьи сутки культивирования, а спустя неделю уже раскрылись

Таблица 2. Эффективность введения семян сои в культуру *in vitro*, %

Table 2. Efficiency of introducing soybean seeds into *in vitro* culture, %

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название образца / Accession name	Вариант 1 / Option 1	Вариант 2 / Option 2
5829	Fiskeby V	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0
9960	Светлая	70,0 ± 12,6	100,0 ± 0,0
10539	KG-20	40,0 ± 15,8	100,0 ± 0,0*
10624	Aldana	50,0 ± 21,3	100,0 ± 0,0*
1114	Касатка	70,0 ± 12,6	100,0 ± 0,0
4702	Александровская	10,0 ± 10,0	10,0 ± 10,0
6501	Таджикская 9	0,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0*
6686	Manchu (Lafayette)	0,0 ± 0,0	80,0 ± 13,3*
7235	390-24	0,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0*
7589	Sennari Musume	0,0 ± 0,0	70,0 ± 12,6*
Среднее		34,0 ± 10,3	86,0 ± 10,0*

Примечание: варианты стерилизации 1 и 2 подробно описаны в разделе «Стерилизация семян». Среднее – представлено среднее по трем повторностям значение и ошибка среднего. Знаком «*» отмечены достоверные различия между вариантами опыта
 Note: sterilization options 1 and 2 are described in detail in the *Seed Sterilization* section. Mean is the mean value for three replications and the error of the mean. Significant differences between the options are marked with an asterisk (*)

семядольные листочки (рис. 1). Для оценки способности к каллусообразованию брали экспланты с двухнедельных проростков.

вала каллус с частотой 100%, в то время как в тех же условиях на эксплантах дистальной половинки семядольного листочка каллус не образовался совсем. Таким

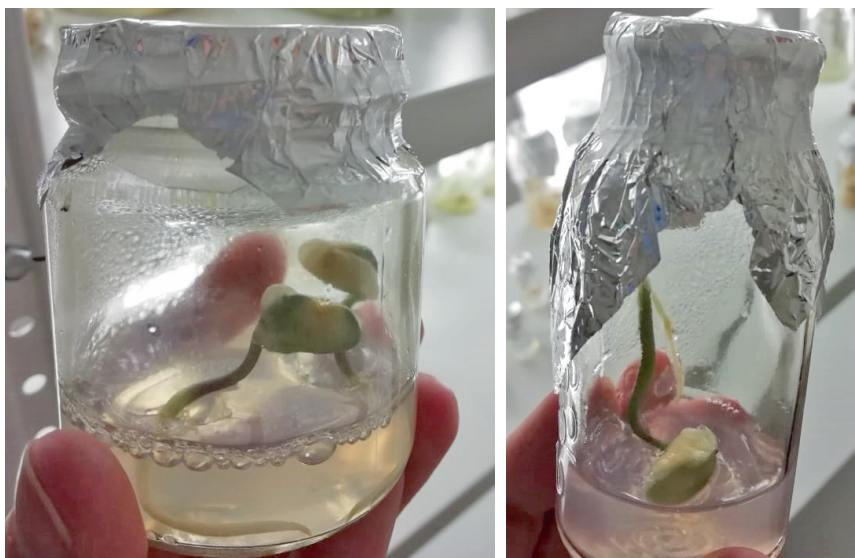


Рис. 1. Проращивание семян сои в культуре *in vitro*

Рис. 1. Soybean seed germination in *in vitro* culture

Оценка влияния типа экспланта

В результате исследований выявили, что экспланты гипокотыля, эпикотыля и, в ряде случаев, семядольного узла показали достоверно наиболее высокий ($p < 0,05$) процент по образованию каллуса (до 100%), а части семядольных листочков характеризовались низкой способностью к формированию каллуса (рис. 2).

образом, для дальнейших исследований наиболее целесообразно использовать экспланты эпикотылей, гипокотылей и семядольные узлы.

Оценка влияния состава питательной среды на регенерационную способность сои

Частота формирования каллуса на питательной среде 1 (МС + 1,13 мг/л БАП + 0,5 мг/л ГК) в зависимости от

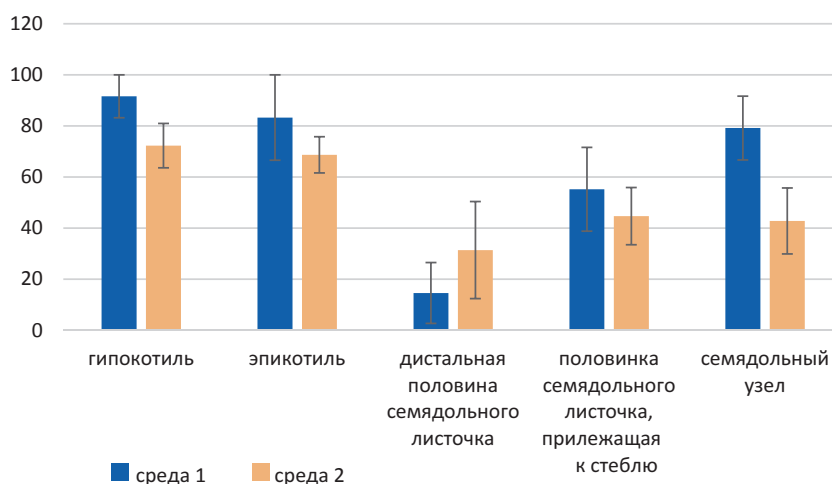


Рис. 2. Эффективность каллусообразования эксплантов сои на разных питательных средах в культуре *in vitro*

Fig. 2. Callus formation efficiency of soybean explants on different nutrient media in *in vitro* culture

Отметим, что два скороспелых сорта сои ('KG-20' и 'Светлая') из пяти показали самый высокий процент образования каллуса на трех типах экспланта – гипокотыли, эпикотыли и семядольные узлы, при этом каллус образовался на 100% таких эксплантов указанных сортов. У этих же образцов максимально отличалась частота каллусообразования из разных частей семядольных листочков: прилежащая к стеблю часть семядоли формиро-

вала каллус с частотой 100%, на питательной среде 2 (МС + 1 мг/л БАП + 0,1 мг/л ИУК) – от 43 до 64%. Достоверные отличия отмечены только в случае сравнения семядольных узлов на разных питательных средах (см. рис. 2), все остальные варианты и средние значения частоты формирования каллуса на двух средах не отличались. Из этого следует, что оба состава могут быть использованы для дальнейших экспериментов.

Заключение

Таким образом, отмечено достоверное влияние стерилизующего агента и типа экспланта на способность образцов сои к формированию каллуса. Наиболее высокая способность к каллусообразованию отмечена у гипокотилей, в ряде случаев – у эпикотилей и семядольных узлов. Влияние фитогормонального состава питательной среды на регенерационную способность образцов сои недостоверно.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта «Разработка подходов к расширению ареалов возделывания значимых культур семейства Бобовые на основе генетического редактирования при помощи системы CRISPR/Cas», PURE ID 62228741.

Авторы благодарят ведущего научного сотрудника отдела генетических ресурсов зернобобовых культур ВИР И. В. Сеферову за любезно предоставленные для исследования образцы сои различных групп спелости.

This work was supported by the project “Development of approaches to expanding the cultivation areas of significant crops of the legume family based on genetic editing using the CRISPR/Cas system”, PURE ID 62228741.

The authors are grateful to Dr. I. V. Seferova, Leading Researcher at the Department of Legume Crop Genetic Resources, for soybean accessions of different earliness groups that she kindly made available for our research.

References / Литература

- Dunaeva S.E., Pendinen G.I., Antonova O.Yu., Shvachko N.A., Volkova N.N., Gavrilenko T.A. Conservation of vegetatively propagated crops in *in vitro* and cryogenic collections: guidelines (Sokhraneniye vegetativno raznozhayemykh kultur v *in vitro* i kriokollektsiyakh: metodicheskiye ukazaniya). T.A. Gavrilenko (ed.). 2nd ed. St. Petersburg: VIR; 2017. [in Russian] (Дунаева С.Е., Пендинен Г.И., Антонова О.Ю., Швачко Н.А., Волкова Н.Н., Гавриленко Т.А. Сохранение вегетативно размножаемых культур в *in vitro* и криоколлекциях: методические указания / под. ред. Т.А. Гавриленко. 2-е изд. Санкт-Петербург: ВИР; 2017).
- Efremova O.S., Shkryl Yu.N., Veremeichik G.N. Regeneration potential *in vitro* of soybean varieties in agrobacterial transformation. *Agrarny vestnik Primorya = Agrarian Bulletin of Primorye*. 2017;4(8):21-23. [in Russian] (Ефремова О.С., Шкрыль Ю.Н., Веремейчик Г.Н. Регенерационный потенциал *in vitro* сортов сои (*Glycine max* (L.) Merr.) при агробактериальной трансформации. *Аграрный вестник Приморья*. 2017;4(8):21-23).
- Korotkova A.M., Gerasimova S.V., Khlestkina E.K. Current achievements in modifying crop genes using CRISPR/Cas system. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(1):29-37. DOI: 10.18699/VJ19.458
- Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962;15(3):473-497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
- Seferova I.V., Nekrasov A.Yu., Silaeva O.I., Kiyashko N.I., Teter Z.Yu., Kiva T.I., Nikishkina M.A. Catalogue of the VIR global collection. Issue 782. Soybean: source material for soybean breeding in Krasnodar Territory (Soya: iskhodny material dlya selektsii soyi v Krasnodarskom krae). M.A. Vishnyakova (ed.). St. Petersburg: VIR; 2008. [in Russian] (Сеферова И.В., Некрасов А.Ю., Силаева О.И., Кияшко Н.И., Тетер З.Ю., Кива Т.И., Никишкина М.А. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 782. Соя: исходный материал для селекции сои в Краснодарском крае / под ред. М.А. Вишняковой. Санкт-Петербург: ВИР; 2008).
- Seferova I.V., Novikova L.Y. Climatic factors affecting the development of early soybean accessions in the environments of the Russian Northwest. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2015;176(1):88-97. [in Russian] (Сеферова И.В., Новикова Л.Ю. Климатические факторы, влияющие на развитие скороспелых образцов сои в условиях северо-запада РФ. *Труды по прикладной ботанике генетике и селекции*. 2015;176(1):88-97). DOI: 10.30901/2227-8834-2015-1-88-97
- Seferova I.V., Vishnyakova M.A. Soybean gene pool from VIR collection for the promotion of agronomical area of the crop to the north. *Legumes and Groat Crops*. 2018;3(27):41-47. [in Russian] (Сеферова И.В., Вишнякова М.А. Генофонд сои из коллекции ВИР для продвижения агрономического ареала культуры к северу. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018;3(27):41-47). DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11030
- Varlamova N.V., Rodionova M.A., Efremova L.N., Kharchenko P.N., Vysotskii D.A., Khaliluev M.R. Indirect shoot organogenesis of soybean *Glycine max* (L.) Merr. from stem segments and use of the explants for agrobacterium-mediated transformation. *Agricultural biology*. 2018;53(3):521-530. [in Russian] (Варламова Н.В., Родионова М.А., Ефремова Л.Н., Харченко П.Н., Высокый Д.А., Халилуев М.Р. Индукция непрямого органогенеза побегов сои *Glycine max* (L.) Merr. из сегментов стебля для применения в качестве эксплантов при агробактериальной трансформации. *Сельскохозяйственная биология*. 2018;53(3):521-530). DOI: 10.15389/agrobiology.2018.3.521rus
- Vinichenko N.A., Salina E.A., Kochetov A.V. The scope of use of molecular markers in soybean breeding. *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;6(3):107-125. [in Russian] (Виниченко Н.А., Салина Е.А., Кочетов А.В. Потенциал использования молекулярных маркеров в селекции сои. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020;6(3):107-125). DOI: 10.18699/Letters2020-6-15

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Коршикова Е.С., Ершова К.М., Мокшенинова Ю.А., Ухатова Ю.В. Оценка эффективности введения образцов сои (*Glycine max* (L.) Merr.) из коллекции ВИР в культуру *in vitro*. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):137-142. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-137-142

Korshikova E.S., Ershova K.M., Moksheninova Yu.A., Ukhatoeva Yu.V. Efficiency of *in vitro* culture techniques applied to soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) accessions from the VIR collection. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(4):137-142. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-137-142

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-137-142>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Korshikova E.S. <https://orcid.org/0000-0002-7298-9212>

Ershova K.M. <https://orcid.org/0000-0002-9593-146X>

Moksheninova Yu.A. <https://orcid.org/0000-0001-7758-1593>

Ukhatoeva Yu.V. <https://orcid.org/0000-0001-9366-0216>

Селекционная оценка потомства 'Папировки тетраплоидной' в условиях Среднего Урала

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-143-147



УДК 634.11 (470.34)

Поступление/Received: 27.05.2020

Принято/Accepted: 19.08.2021

Д. Д. ТЕЛЕЖИНСКИЙ*, Л. А. КОТОВ

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН,
620142 Россия, г. Екатеринбург,
ул. Белинского, 112, корп. А

* [✉ ddt77@list.ru](mailto:ddt77@list.ru)

Breeding-oriented evaluation of the progeny of cv. 'Papirovka tetraploidnaya' in the Middle Urals

D. D. TELEZHINSKIY*, L. A. KOTOV

Ural Federal Agricultural Research Center,
Ural Branch of the RAS,
112, bldg. A, Belinskogo St.,
Yekaterinburg 620142, Russia

* [✉ ddt77@list.ru](mailto:ddt77@list.ru)

Одним из наиболее перспективных направлений в селекции яблони является полиплоидия. Триплоидные сорта показывают более высокую стабильность плодоношения и повышенную самоплодность. Наиболее легкий путь получения триплоидов – скрещивания диплоидных и тетраплоидных сортов между собой. Главный сдерживающий фактор при этом – ограниченное количество исходных тетраплоидных форм, от характеристик которых зависит качество и перспективность получаемого гибридного потомства.

Сотрудниками Свердловской селекционной станции садоводства в условиях Среднего Урала были созданы и проанализированы пять гибридных семей с использованием сорта 'Папировка тетраплоидная' в качестве отцовской исходной формы, пыльцу которой мы получили от академика Е. Н. Седова из Всероссийского НИИ селекции плодовых культур. Данный сорт яблони был завезен во ВНИИСПК в 1972 году из Франции с Анжерской опытной станции.

Определено, что 'Папировка тетраплоидная' с высокой долей вероятности передает своему потомству следующие признаки: крупноплодность, раннелетний, летний и осенний сроки созревания плодов, рыхлая или средней плотности крупнозернистая мякоть и невыдающийся столовый вкус плодов (дегустационная оценка 3,8–4,2 балла).

Ключевые слова: *Malus domestica*, селекция яблони, полиплоидия, триплоиды, тетраплоиды, селекционная оценка потомства.

One of the most promising trends in apple breeding is polyploidy. Triploid cultivars show higher fruiting stability and increased self-fertility. The easiest way to obtain triploids is to cross diploid and tetraploid cultivars among themselves. The main limiting factor in this case is a restricted number of initial tetraploid forms whose characteristics affect the quality and prospects of the resulting hybrid progeny.

The staff of Sverdlovsk Horticultural Breeding Station in the Middle Urals produced and analyzed 5 hybrid families using cv. 'Papirovka tetraploidnaya' as the paternal source; the latter's pollen was supplied by Acad. E. N. Sedov from the All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. Ninety hybrid seedlings were studied.

The study showed that 'Papirovka tetraploidnaya' with a high degree of probability conveyed the following traits to its progeny: large fruit size, fruit ripening in early summer, midsummer and autumn, loose or medium density of coarse fruit flesh, and nonoutstanding fruit taste (scoring 3.8–4.2 points).

Key words: *Malus domestica*, apple breeding, polyploidy, triploids, tetraploids, breeding evaluation of the progeny.

Введение

В деле получения новых регулярно плодоносящих сортов яблони с высокими товарными качествами плодов значительный интерес представляет селекция на полиплоидном уровне. Большая часть сортов яблони – диплоиды ($2x = 34$) (Sedov, 1995).

Полиплоидия – это геномная мутация, связанная с увеличением числа целых хромосомных наборов. У яблони оптимальным уровнем плоидности в отношении проявления полезных свойств рядом исследователей признается триплоидный уровень (Singh, Wafai, 1984; Sedov et al., 2015). Поэтому основным направлением селекции на полиплоидном уровне у яблони является массовое получение триплоидов на основе интервалентных скрещиваний типа $2x \times 4x$, $4x \times 2x$ (Sedov, 1995). Сле-

дует отметить, что в селекции яблони на полиплоидность существенным сдерживающим фактором является весьма ограниченный набор тетраплоидных исходных форм (Sedov, 1995). Создание обширного фонда полиплоидных аналогов сортов разного происхождения, а также экотипов дикорастущих видов – это первоочередная задача экспериментальной полиплоидии плодовых растений (Sedov, 1995). Имея большое разнообразие полиплоидных исходных форм для интервалентных скрещиваний, можно рассчитывать на получение гибридного фонда триплоидов с широким размахом изменчивости, а следовательно – и на большую вероятность отбора сортов яблони на триплоидном уровне с комплексом полезных свойств, отвечающих требованиям интенсивного садоводства (Sedov, 1995). Увеличение плоидности также может положительно сказываться на устойчивости к па-

тогенам за счет увеличения числа генов устойчивости (Podwyszyńska et al., 2019). Большим достоинством этого метода полиплоидии является ускорение селекционного процесса на такие признаки, как, например, масса плода, имеющая полигенный контроль. При скрещивании мелкоплодных сортов с крупноплодными тетраплоидными формами необходимо только одно поколение, чтобы в массе гибридных семян была значительная доля крупноплодных, в то время как при использовании диплоидных крупноплодных сортов требуется несколько насыщающих скрещиваний для достижения подобного результата.

'Папировка тетраплоидная' имеет плоидность 2-4-4-4х и представляет собой диплоидно-тетраплоидную химеру первого типа, которая была завезена во Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур (ВНИИСПК) из Франции с Анжерской опытной станции в 1972 г. Деревья в условиях г. Орла среднестойкие и среднеурожайные, плоды средней массы – 130 г, летнего срока созревания, с оценкой вкуса 3,8 балла (Sedov, 1995). В условиях Екатеринбурга 'Папировка тетраплоидная' оказалась не зимостойкой, так как ее прививки, сделанные высоко в кроне высокозимостойкого скелетообразователя, вымерзли целиком в течение нескольких лет.

Данные подробного цитозембриологического анализа мейоза при микроспорогенезе и анализ жизнеспособности пыльцы свидетельствуют о том, что диплоидно-тетраплоидная химера 'Папировка тетраплоидная' при использовании в гетероплоидных скрещиваниях в качестве опылителя в гибридном потомстве дает в среднем 77,9% триплоидных семян (Sedyshva et al., 2010). Цитологические исследования формирования пыльцы 'Папировки тетраплоидной' свидетельствуют о пригодности ее в качестве донора диплоидных гамет для селекции на полиплоидном уровне (Sedyshva, Sedov, 1994; Sedyshva et al., 2010). По результатам исследования, проведенного в Северо-Кавказском федеральном научном центре садоводства, виноградарства, виноделия (СКЗНЦСВВ), 'Папировка тетраплоидная' является источником признаков крупноплодности и хорошего вкуса плодов. От нее получены несколько гибридов со средней массой плодов более 300 г (Ulyanovskaya et al., 2016). По данным ВНИИСПК, 'Папировка тетраплоидная' является ценной исходной формой в создании летних триплоидных сортов, на основе которой в этом учреждении получены 12 новых сортов яблони, 5 из них – совместно с СКЗНЦСВВ (Sedov et al., 2012; Sedov, 2015; Krasova, 2016).

На Свердловской селекционной станции садоводства 'Папировка тетраплоидная' использовалась в селекции в качестве отцовской исходной формы. Целью исследования является изучение наследования потомством сорта 'Папировка тетраплоидная' основных хозяйственно значимых признаков для определения его селекционной ценности.

Таблица 1. Среднегодовалые месячные температуры воздуха и количество осадков
(г. Екатеринбург, 2000-2019 гг.)

Table 1. Mean monthly air temperatures and precipitation amounts for many years (Yekaterinburg, 2000-2019)

	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура, °С	-13,8	-12,3	-4,1	+4,0	+11,7	+17,1	+19,1	+16,4	+10,2	+3,5	-6,3	-11,7
Осадки, мм	23,7	18,9	21,4	26,7	47,0	67,3	88,3	78,7	42,2	34,8	32,3	27,8

Материалы и методика исследований

Место проведения исследований: Свердловская селекционная станция садоводства – структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», на уникальной научной установке коллекции живых растений открытого грунта «Генофонд плодовых, ягодных и декоративных культур на Среднем Урале», предназначенной для проведения фундаментальных, поисковых и прикладных комплексных исследований в области селекции и сортоизучения плодовых, ягодных и декоративных культур (Slepneva, Chebotok, 2017).

Обследовался гибридный фонд яблони, в частности те семьи, где одним из родителей является 'Папировка тетраплоидная':

Соковое-2 (сеянец 'Мощной' от свободного опыления) × Папировка тетраплоидная – 15 растений;

Китайка нежная × Папировка тетраплоидная – 11 растений;

P5л/2-29 (Уральский сувенир × SR0523) × Папировка тетраплоидная – 17 растений;

P5л/2-28 (Уральский сувенир × SR0523) × Папировка тетраплоидная – 12 растений;

Утренняя роза (Уральский сувенир × SR0523) × Папировка тетраплоидная – 35 растений.

Пыльцу для данных скрещиваний мы получили из ВНИИСПК от академика Е. Н. Седова. Гибридизация проводилась под руководством Л. А. Котова в 2004–2005 гг., посев гибридных семян – в 2005–2006 гг. Для высадки в гибридный сад из селекционного питомника отбирались двухлетние сеянцы с крупным размером листовой пластинки и с более ярко выраженными культурными признаками. Схема посадки – 5 × 0,5 м. Согласно общепринятым методикам (Sedov, 1995) проводились учеты по следующим показателям: зимостойкость, устойчивость к парше, качество плодов (размер, цвет, характер вкуса, срок созревания, тип мякоти).

Климатические условия места проведения исследований. Климат Среднего Урала обусловлен, прежде всего, географическим местоположением Уральских гор, которые простираются с севера на юг от Северного ледовитого океана. Благодаря этому часто случается заброс холодного арктического воздуха вдоль горного хребта в наши широты. Количество осадков за год – 540 мм, две трети осадков выпадают в течение вегетационного периода, сумма активных температур – в пределах 1600–2100°С, в среднем 1800°С. В таблице 1 представлены среднегодовалые данные по среднемесячным температурам и количеству осадков, полученные на метеопункте Свердловской селекционной станции садоводства.

Зима на Среднем Урале длинная и достаточно холодная. Оттепели зимой здесь достаточно редки и не-

продолжительны, бывают раз в два-три года. Средняя температура января $-13,8^{\circ}\text{C}$, минимальная за последние 20 лет -36°C , минимальная за период наблюдений с 1950 г. $-47,1^{\circ}\text{C}$. Суровые зимы повторяются с периодичностью 5–10 лет. Снеговой покров устанавливается в конце октября – ноябре, сходит снег в апреле. Толщина снегового покрова достигает 60–80 см в марте, что обычно достаточно для успешной перезимовки садовых растений.

Весенний период характеризуется частыми возвратными заморозками вплоть до 10 июня, а в 1997 г. очень сильный заморозок был с 17 на 18 июня.

Лето чаще бывает дождливое и прохладное, засухи случаются довольно редко – один раз в пять лет и бы-

Китайка нежная × Папировка тетраплоидная – 91%;
P5л/2-29 × Папировка тетраплоидная – 82%;
P5л/2-28 × Папировка тетраплоидная – 83%;
Утренняя роза × Папировка тетраплоидная – 83%.

Масса плода. 'Папировка тетраплоидная' – очень хорошая исходная форма в селекции на крупноплодность. В ее потомстве часто встречаются гибриды с массой плода 150–200 г (табл. 2). Крупноплодность сохраняется даже при использовании в качестве материнских форм мелкоплодных сортов, таких как 'Соковое-2' и 'Китайка нежная' с массой плода всего 25–30 г. Причем большое количество гибридов превосходит по массе плодов 'Папировку тетраплоидную', у которой их средняя масса, по данным ВНИИСПК, – 130 г (Sedov, 1995).

Таблица 2. Распределение сеянцев по средней массе плода, % (Екатеринбург, 2016–2019 гг.)

Table 2. Distribution of seedlings according to their average fruit weight, % (Yekaterinburg, 2016–2019)

Семья	Количество растений, шт.	Масса плода, г					
		менее 100	100–120	121–140	141–160	161–180	181–200
Соковое-2 × Папировка тетраплоидная	15	0	20	47	20	13	0
Китайка нежная × Папировка тетраплоидная	11	9	18	46	18	9	0
P5л/2-29 × Папировка тетраплоидная	17	6	12	12	29	23	18
P5л/2-28 × Папировка тетраплоидная	12	0	17	25	25	17	16
Утренняя роза × Папировка тетраплоидная	35	0	17	29	20	17	17

вают чаще в первой половине лета. Средняя температура июля $+19,1^{\circ}\text{C}$. Безморозный период составляет 75–120 дней.

Осенний период, по среднемноголетним данным за последние 20 лет, довольно дождливый и прохладный. Переход средней дневной температуры в отрицательные значения происходит обычно в конце октября – первой декаде ноября.

Результаты исследований

Гибридное потомство 'Папировки тетраплоидной' исследовалось по следующим показателям: зимостойкость, устойчивость к парше, товарные качества плодов (размер, окраска кожицы, характер вкуса, срок созревания, тип мякоти). В результате анализа полученных данных было установлено следующее.

Зимостойкость. 'Папировка тетраплоидная' в климатических условиях Среднего Урала имеет очень низкую зимостойкость, ее прививки на зимостойком скелетообразователе полностью вымерзли в течение нескольких лет, поэтому для скрещивания с 'Папировкой тетраплоидной' мы подбирали исходные материнские формы с высокой зимостойкостью. В результате большинство сеянцев в пяти исследуемых семьях имеют хорошую зимостойкость (общая степень подмерзания у них не превышает 2 баллов):

Соковое-2 × Папировка тетраплоидная – 87% зимостойких сеянцев;

Вкус плодов. В условиях Среднего Урала в потомстве 'Папировки тетраплоидной' не выявлено сеянцев с оценкой вкуса плодов более 4,2 балла. Большинство из них имели плоды со вкусом на 3,8–4,1 балла (табл. 3). Оценка в 4,0 балла присваивается плодам, имеющим хороший, столовый вкус, а у вновь создаваемых современных сортов желаемая оценка вкуса плодов должна быть не ниже 4,3 балла. Характер вкуса у большинства полученных сеянцев кисло-сладкий, то есть с преобладанием кислоты, и у совсем немногих – кисловато-сладкий, то есть с незначительным содержанием кислоты. Около 14% сеянцев по данным семьям имеют небольшую терпкость во вкусе, которая не исчезает до конца срока потребления плодов. Сорт 'Папировка тетраплоидная' в целом не показал себя в наших условиях как исходная отцовская форма, дающая в потомстве значительную долю гибридов с высокими вкусовыми качествами, даже несмотря на то, что в некоторых семьях материнские формы отличались высокой оценкой вкуса. Наибольшее количество гибридов с довольно хорошим вкусом содержится в семье Соковое-2 × Папировка тетраплоидная.

Тип мякоти плодов. У большинства сеянцев (75–100%) в изучаемых нами семьях мякоть была достаточно рыхлая или средней плотности, крупнозернистая, и лишь в семье P5л/2-29 × Папировка тетраплоидная встретился один гибрид с хрустящей и плотной мякотью, а в семье Утренняя роза × Папировка тетраплоидная около 25% сеянцев имеют плотную мякоть.

Таблица 3. Распределение сеянцев по вкусу плодов, % (Екатеринбург, 2016–2019 гг.)
Table 3. Distribution of seedlings according to their fruit taste, % (Yekaterinburg, 2016–2019)

Семья	Дегустационная оценка плодов, балл					
	менее 3,8	3,8	3,9	4	4,1	4,2
Соковое-2 × Папировка тетраплоидная	0	0	13	33	27	27
Китайка нежная × Папировка тетраплоидная	9	18	18	46	9	0
P5л/2-29 × Папировка тетраплоидная	6	41	18	18	17	0
P5л/2-28 × Папировка тетраплоидная	0	0	8	67	25	0
Утренняя роза × Папировка тетраплоидная	6	14	40	29	11	0

Срок созревания плодов. У сеянцев в изучаемых нами семьях срок созревания плодов варьировал от раннелетнего до осеннего, лежкость плодов – от двух недель до месяца. Ни одного сеянца с более поздним сроком созревания и более длительной лежкостью не обнаружено.

Окраска плодов. Плоды сорта ‘Папировка тетраплоидная’ не имеют покровную окраску, поэтому наличие ее у плодов гибридов по большей части зависит от второго родителя. Так, в семье Китайка нежная × Папировка тетраплоидная все растения имеют плоды без покровной окраски, в семье Соковое-2 × Папировка тетраплоидная таких растений 80%, а в других изучаемых семьях большинство гибридов имеют покровную окраску в виде румянца разной степени выраженности. Основная же окраска у всех изучаемых растений очень светлая: светло-желтая, светло-зеленая и почти белая.

Устойчивость к парше. Количество гибридов, устойчивых к парше, в семьях с ‘Папировкой тетраплоидной’ зависит в значительной мере от устойчивости второго родителя. Так, в семье Соковое-2 × Папировка тетраплоидная большинство гибридов (80%) поражаются паршой на 2,0–3,5 балла, так как растения сорта ‘Соковое-2’ неустойчивы к парше. В семьях, где, как мы предполагаем, у второго родителя присутствует ген иммунитета к парше *Vm* (P5л/2-29, P5л/2-28 и ‘Утренняя роза’), около половины сеянцев не имеют признаков поражения этим грибным заболеванием.

Выводы

На основании проведенных исследований определено, что ‘Папировка тетраплоидная’ обладает селекционной ценностью и с высокой вероятностью склонна передавать своему потомству следующие признаки:

- относительно крупный размер плода;
- раннелетний, летний и осенний сроки созревания плодов;
- светлую основную окраску плодов;
- невыдающийся столовый вкус плодов (с дегустационной оценкой 3,8–4,2 балла);
- рыхлую или средней плотности крупнозернистую мякоть;
- среднюю устойчивость к парше.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ УрФАНИЦ УРО РАН по направлению 150 Программы ФНИ государственных академий наук на 2021–2030 гг.

The work was done within the framework of the State Task for the Ural Federal Agricultural Research Center, UB RAS, under Guideline 150 of the Federal Scientific Research Program of the State Academies of Sciences for 2021–2030.

References / Литература

- Krasova N.G. The use of VNIISPK gene pool in apple breeding. *Breeding and Variety Cultivation of Fruit and Berry Crops*. 2016;3:77-83. [in Russian] (Красова Н.Г. Использование генофонда ВНИИСПК в селекции сортов яблони. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2016;3:77-83).
- Podwyszyńska M., Broniarek-Niemiec A., Wojtania A., Klamkowski K., Marasek-Ciolakowska A., Puławska J. Ocena fenotypowa autotetraploidów jabłoni ze szczególnym uwzględnieniem podatności na porażenie przez *Venturia inaequalis* i *Erwinia amylovora*. *Biuletyn Instytutu hodowli i aklimatyzacji roślin = Bulletin of Plant Breeding and Acclimatization Institute*. 2019;285:125-127. [in Polish]
- Sedov E.N. Apple gene pool use, sources and donors of economically valuable traits. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(1):104-110. [in Russian] (Седов Е.Н. Использование генофонда яблони: источники и доноры хозяйственно полезных признаков. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015;19(1):104-110).
- Sedov E.N. (ed.). The program and methods for fruit, berry and nut crop breeding (Programma i metodika selektsii plodovyykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur). Orel: VNIISPK; 1995. [in Russian] (Программа и методика селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова). Орел: ВНИИСПК; 1995).
- Sedov E.N., Sedysheva G.A., Makarkina M.A., Levgerova N.S., Serova Z.M. Innovations in apple-tree genome modification. New prospects in breeding (Innovatsii v izmenenii genoma yablони. Novye perspektivy v selektsii). Orel: VNIISPK; 2015. [in Russian] (Седов Е.Н., Седышева Г.А., Макаркина М.А., Левгерова Н.С., Серова З.М. Инновации в изменении генома яблони. Новые перспективы в селекции. Орел: ВНИИСПК; 2015).
- Sedov E.N., Sedysheva G.A., Serova Z.M., Ulyanovskaya E.V. Papirovska tetraploidnaya is a valuable initial form in the development of triploid cultivars ripening in summer (Papirovska tetraploidnaya – tsennaya iskhodnaya forma v sozdanii triploidnykh sortov letnego sozrevaniya). *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2012;32(2):15-20. [in Russian] (Седов Е.Н., Седы-

- шева Г.А., Серова З.М., Ульяновская Е.В. Папировка тетраплоидная – ценная исходная форма в создании триплоидных сортов летнего созревания. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2012;32(2):15-20.
- Sedyshcheva G.A., Sedov E.N. Polyploidy in apple breeding (Poliploidiya v selektsii yabloni). Orel: VNIISPK; 1994. [in Russian] (Седышева Г.А., Седов Е.Н. Полиплоидия в селекции яблони. Орел: ВНИИСПК; 1994).
- Sedyshcheva G.A., Sedov E.N., Gorbacheva N.G. Comparative characterization of microsporogenesis in polyploid forms of apple trees (Srovnitel'naya kharakteristika mikrosporogeneza u poliploidnykh form yabloni). *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2010;1:48-51. [in Russian] (Седышева Г.А., Седов Е.Н., Горбачева Н.Г. Сравнительная характеристика микроспорогенеза у полиплоидных форм яблони. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2010;1:48-51).
- Singh R., Wafai B.A. Intravarietal polyploidy in the apple (*Malus pumila* Mill.) cultivar Hzratbali. *Euphytica*. 1984;33(1):209-214. DOI: 10.1007/BF00022767
- Slepneva T.N., Chebotok E.M. Maintenance and replenishment of genetic resources of fruit, berry and ornamental crops through the establishment of unique scientific installations of the collection of living plants of open ground. *Works of the State Nikita Botanical Gardens*. 2017;144(1):54-58. [in Russian] (Слепнева Т.Н., Чеботок Е.М. Сохранение и пополнение генетических ресурсов плодовых, ягодных и декоративных культур путем создания уникальной научной установки коллекции живых растений открытого грунта. *Сборник научных трудов государственного Никитского ботанического сада*. 2017;144(1):54-58).
- Ulyanovskaya E.V., Prichko T.G., Chalaya L.D. A comprehensive assessment of source material for apple breeding for immunity and fruit quality. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(5):607-615. [in Russian] (Ульяновская Е.В., Причко Т.Г., Чалая Л.Д. Комплексная оценка исходного материала яблони для селекции на иммунитет и качество плодов. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(5):607-615). DOI 10.18699/VJ16.182

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Тележинский Д.Д., Котов Л.А. Селекционная оценка потомства 'Папировки тетраплоидной' в условиях Среднего Урала. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):143-147. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-143-147

Telezhinskiy D.D., Kotov L.A. Breeding-oriented evaluation of the progeny of cv. 'Papirova tetraploidnaya' in the Middle Urals. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(4):143-147. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-143-147

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-143-147>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Telezhinskiy D.D. <https://orcid.org/0000-0002-4783-2029>

Kotov L.A. <https://orcid.org/0000-0001-5211-7583>

Регенерация сои в культуре *in vitro* (обзор)

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-148-155



УДК: 58.085

Поступление/Received: 01.06.2021

Принято/Accepted: 10.09.2021

Е. С. БЕСПАЛОВА, К. М. ЕРШОВА, Ю. В. УХАТОВА*

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
* sci_secretary@vir.nw.ru

In vitro regeneration of soybean
(a review)

E. S. BESPALOVA, K. M. ERSHOVA, YU. V. UKHATOVA*

N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
* sci_secretary@vir.nw.ru

В настоящей статье представлен обзор современных работ по изучению способности образцов сои к регенерации в культуре *in vitro* и обсуждаются способы получения высоких показателей регенерации, что является необходимым условием включения генотипов сои в программы по геномному редактированию. В обзоре рассмотрены основные факторы, определяющие регенерационную способность эксплантов различных образцов сои. Наибольшее влияние на эффективность регенерации оказывают условия инициации культуры *in vitro*, тип экспланта, состав питательной среды, а также генотипические особенности образцов.

Ключевые слова: *Glycine max* (L.) Merr., геномное редактирование, CRISPR/Cas, экспланты, генотип.

This is an overview of contemporary published works dedicated to the ability of soybean plants to regenerate *in vitro* and the techniques to achieve high regeneration rates, which is a necessary condition for the inclusion of soybean genotypes in genome editing programs. The main factors that determine the regenerative capacity of explants from various soybean accessions are considered. The greatest effect on the efficiency of regeneration is exerted by the conditions of *in vitro* culture initiation, type of explant, composition of the nutrient medium, shelf life of seeds, and genotypic characteristics of soybean accessions.

Key words: *Glycine max* (L.) Merr., genome editing, CRISPR/Cas, explants, genotype.

Введение

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) – уникальная сельскохозяйственная культура, ценный источник растительного белка и масла (Seferova, Vishnyakova, 2018). Распространение производства сои в России и мире стремительно растет; за последние десятилетия она заняла четвертое место среди культур-лидеров (Lysenko, 2019). Однако широтный ареал ее адаптивности ограничен в связи с тем, что соя – растение короткого дня с чувствительной системой восприятия продолжительности фотопериода. Для произрастания и возделывания сои *G. max* необходимы благоприятные климатические условия, а именно: температура +18...+22°C для роста и созревания, влажность воздуха не более 80%, продолжительность светового дня 12 часов (Seferova, Novikova, 2015; Bragina, Kocheva, 2017; Novikova et al., 2018). Ключевую роль в созревании бобов играет фотопериодическая чувствительность (ФПЧ): в условиях длинного дня цветение может быть затяжным или вовсе не наступает, (Tolmacheva, 2013; Seferova, Vishnyakova, 2018).

Соя хорошо изучена с точки зрения генетики. Так, геном сои расшифрован в 2009 г., статья об этом вышла в журнале Nature в 2010 г. (Schmutz et al., 2010). К настоящему времени для сои, как и для многих сельскохозяйственных культур, разработаны различные маркеры к генам (Vinichenko et al., 2020), ответственным за сроки вегетации, высоту растений, устойчивость к климатическим факторам, фотопериодическую чувствительность (ФПЧ): RAPD (Xu et al., 2002; Xu, Gai, 2003), ISSR (Glazko et al., 1999; Kozurenko et al., 2007; Abugalieva et al., 2010; Mudibu et al., 2011), AFLP (Feng et al., 2008; Abugalieva, 2013) и др.

Для расширения генетического разнообразия и получения растений с заданными свойствами используют современные методы геномного редактирования, ведущие к изменению функционирования генов, что приводит к формированию новых генотипов (Salina, 2016). Наиболее часто используют систему CRISPR/Cas, которая позволяет быстро и достаточно просто вносить изменения в генетический материал растений на основе механизма репарации, при котором происходит восстановление нативной структуры ДНК (Gasiunas, Siksnys, 2013; Chylinski et al., 2014; Nemudryi et al., 2014; Lomov et al., 2015; Makarova et al., 2015; Ceasar et al., 2016; Luo et al., 2016; Leenay, Beisel, 2017; Marchisio, Huang, 2017; Shmakov et al., 2017; etc.). Например, с помощью данной системы можно встраивать или заменять отдельные участки нуклеотидных последовательностей (Bakulina, Shirokikh, 2019). В этом случае получают нетрансгенные растения с заданными признаками и свойствами, причем одновременно можно производить мутации в нескольких генах-мишенях (Korotkova et al., 2017, 2019). Система CRISPR/Cas прошла апробацию на 25 различных культурах (ячмень, кукуруза, рис, сорго, пшеница, капуста, морковь, кассава, огурец, картофель, томат, арбуз, киви, яблоня, банан, виноград, грейпфрут, апельсин, люцерна, соя, горчица, хлопчатник, лен, рапс, кофе) (Korotkova et al., 2017; Tikhonova, Khlestkina, 2019; Strygina, Khlestkina, 2020). В течение пяти лет с помощью применения системы CRISPR/Cas на растениях различных культур было изменено более 80 генов-мишеней с улучшением свойств плодов (Korotkova et al., 2017, 2019).

Используя современные технологии геномного редактирования CRISPR/Cas, можно получить высоко-

продуктивные генотипы сои для выращивания практически во всех климатических зонах, что будет экономически выгодным и приведет к решению проблемы возделывания данной культуры в более северных широтах по сравнению с существующими зонами возделывания сои.

Основными этапами геномной инженерии с помощью системы CRISPR/Cas являются: выбор целевой последовательности и определение способа редактирования; создание направляющей конструкции (вектора) для доставки генетического материала в ядро клетки; собственно редактирование и последующий анализ участка генома, подвергнутого воздействию (Vlasov et al., 2014; Korotkova et al., 2017; Strygina, Khlestkina, 2020). Большинство работ методами геномного редактирования, в том числе сои, начинаются в культуре *in vitro*. Для включения в работу по геномному редактированию отбирают генотипы с высокой регенерационной способностью и проводят подбор условий для повышения способности к регенерации остальных генотипов.

Именно уровень регенерации является фактором, лимитирующим применение геномного редактирования. Выбор оптимальных условий позволит повысить уровень регенерации различных генотипов и вовлечь боль-

шее число образцов в развивающиеся программы генетического редактирования.

В настоящей работе приводится анализ литературных данных и описаны ключевые факторы, влияющие на регенерационную способность образцов сои и других зернобобовых культур, с целью выбора наиболее эффективной методики для дальнейшего применения в практической работе с образцами из коллекции ВИР.

Влияние различных факторов на эффективность регенерации зернобобовых культур

Проведенный анализ научных работ, в которых объектом исследования служила соя (*Glycine max*), а также несколько других модельных зернобобовых культур (горох – *Pisum sativum* L., люпин – *Lupinus albus* L.), показал, что каждым коллективом авторов было исследовано относительно небольшое число образцов – от 1 до 9 генотипов, причем данные по регенерации сильно отличались (табл. 1). В разных экспериментах были использованы различные типы эксплантов (частей растений). Уровень регенерации все авторы определяли как долю регенерирующих эксплантов от их общего числа, выраженную в процентах.

Таблица 1. Уровень регенерационной способности образцов сои (*Glycine max* (L.) Merr.) и гороха (*Pisum sativum* L.) в зависимости от типа экспланта и генотипа

Table 1. Regenerative capacity levels of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) and pea (*Pisum sativum* L.) accessions depending on the type of the explant and the genotype

Объект исследования	Число изученных генотипов	Тип экспланта для культивирования <i>in vitro</i>	Уровень регенерации (%)		Ссылка
			min	max	
<i>Pisum sativum</i> L.	1	Семядольные узлы	25	100	Kantayos, Bae, 2019a
<i>Glycine max</i> (L.) Merr.					
Incasoy-36	1	Семядольные узлы	27	96,8	Soto et al., 2013
Линия 1476 Линия 1477	2	Сегменты стебля	12,3	51,2	Varlamova et al., 2018
Peking; Dundee	2	Семядольные узлы	50	66,5	Mangena et al., 2020
Dawon; Pungsan; Daewon; Taekwang; Chongdoo 1	5	Семядоли	0	0	Kantayos Bae, 2019b
	5	Гипокотиль	0	0	Kantayos Bae, 2019b
	5	Семядольные узлы	66,7	100	Kantayos Bae, 2019b
Ходсон; Приморская-81; Приморская-4; Приморская-86; Муссон; Сфера	6	Семядольные узлы	36	56	Efremova et al., 2017
Dundee; TGx1740-2F; TGx1835-10E; LS677; LS678; Peking	6	Двойной семядольный узел	45	90	Mangena, Mokwala, 2019
Bohemians; Cardiff; Gallec; Merlin; Moravians; Naya; Silensia	7	Половинки семян	5,7	37,7	Sojková et al., 2016

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

Объект исследования	Число изученных генотипов	Тип экспланта для культивирования <i>in vitro</i>	Уровень регенерации (%)		Ссылка
			min	max	
Snowy; Jack; Williams; Bunya; PNR791; A6785; MoonB1; Bragg Fernside	9	Незрелые семядоли	0	85	Raza et al., 2020
Huasteca-100; Huasteca-200; Huasteca-300; Huasteca-400; Huasteca-600; Tamesí; Nainari; Suaqui-86; Jack	9	Семядольные узлы; часть гипокотыля	6	33	Mora Vasquez et al., 2020
Bunya; Fernside; Snowy; Moon B1; A6785; PNR791; Bragg; Jack; William	9	Половинки гипокотилей	60	87	Raza et al., 2017
	9	Гипокотили	50	100	Raza et al., 2017
	9	Семядольные узлы	75	100	Raza et al., 2017

Проведенный анализ литературных данных позволил выявить ряд факторов, влияющих на способность генотипов сои к регенерации. В их числе: условия инициации культуры *in vitro*, тип экспланта, состав питательной среды, срок хранения семян, а также генотипические особенности образцов (Sainger et al., 2015).

Фактор инициации культуры *in vitro*

Для инициации развития эксплантов сои в культуре *in vitro* все авторы использовали семена, которые подвергали тщательной поверхностной стерилизации для освобождения семян от патогенных микроорганизмов. Существенным фактором, оказывающим влияние на эффективность введения в условия *in vitro*, а также на дальнейшую регенерацию, является качество исходных семян, используемых в экспериментах: семена с высокими показателями всхожести, без признаков поражения болезнями и вредителями ожидаемо имеют высокую эффективность введения в культуру *in vitro*.

В большинстве работ в качестве стерилизующего агента был использован коммерческий отбеливатель с гипохлоритом натрия (типа «АСЕ», «Белизна») (Soto et al., 2013; Sojková et al., 2016; Raza et al., 2017; Varlamova et al., 2018; Kantayos, Bae, 2019b; Mangena, Mokwala, 2019; Mangena et al., 2020; Raza et al., 2020). В четырех работах (Mangena, Mokwala, 2019, 2020; Raza et al., 2017; Sojková et al., 2016) использован газообразный хлор как стерилизующий агент. Другие авторы использовали этанол: 70% (Soto et al., 2013; Kantayos, Bae, 2019b; Varlamova et al., 2018) и 75% (Aslam et al., 2020), 3-процентную перекись водорода (Zhumagulova, 2014), твин-20 (Raza et al., 2020) и концентрированную соляную кислоту (Mangena, Mokwala, 2019). Длительность стерилизации составляла от 15 минут до 20 часов, в отдельных случаях достигала 48 часов. При этом во всех работах отмечена 100-процентная эффективность стерилизации – все обработанные семена были успешно введены в культуру *in vitro*.

Таким образом, наиболее оптимальным является вариант 15-минутной стерилизации гипохлоритом натрия – как самый быстрый и при этом не менее эффективный, чем остальные более длительные варианты.

Влияние состава питательной среды: минеральная основа и регуляторы роста

Практически во всех работах по изучению регенерационной способности сои (Sojková et al., 2016; Raza et al., 2019; Aslam et al., 2020) авторы использовали питательную среду на основе среды Мурасиге–Скуга (МС) (Murashige, Skoog, 1962) (табл. 2). Результаты проанализированных работ показали, что состав питательной среды, в частности степень разведения базовой среды (в 2, 3 и 4 раза), влиял на уровень регенерации всех образцов зернобобовых культур вне зависимости от типа экспланта и генотипа (см. табл. 2). Максимальная регенерация (80%) была получена на среде $1/2$ МС (Aslam et al., 2020). В то же время между культивированием эксплантов на полной среде МС и $1/3$ МС значительных различий в уровне регенерации не наблюдали, а разбавление МС в четыре раза привело к более низкому уровню регенерации по сравнению со всеми другими вариантами сред – всего 10% (Aslam et al., 2020). Было установлено, что 3% сахарозы в питательной среде вызывают самую высокую частоту регенерации побегов, чем все другие источники углеводов для всех эксплантов. Снижение частоты регенерации наблюдалось в следующем порядке: сахароза > фруктоза > глюкоза > мальтоза (Aslam et al., 2020). Таким образом, минеральная основа питательной среды и источники углеводов оказывают значимое влияние на способность эксплантов к регенерации.

Не менее важным фактором было содержание фитогормонов (БАП, ИМК, НУК, кинетин, зеатин, ГК) и витаминов (В8, В5) в питательной среде. Так, в работе V. Kantayos и С. Н. Вае (2019b) в зависимости от концентрации регуляторов роста в среде был получен уровень регенерации от 0 до 100%. При добавлении в среду витамина В5, БАП (0, 1, 2, 4 мг/л) и кинетина (1, 2 мг/л) регенерация достигала 75–96,7%. Однако при содержании в среде БАП и кинетина (по 2 мг/л) процент регенерации составил лишь 13,3% (Kantayos, Bae, 2019b).

Другие авторы (Sojková et al., 2016) дополняли среду комбинацией регуляторов роста: БАП (1,67 мг/л), ИУК (0,1 мг/л), ГК (0,5 мг/л), зеатин (1 мг/л) и витамина В5 (3,2 г/л); уровень регенерации составил 5,7–37,7%.

Таблица 2. Влияние состава питательной среды и регуляторов роста на эффективность регенерации
Table 2. Impacts of the composition of the nutrient medium and growth regulators on the efficiency of regeneration

Состав питательной среды и регуляторов роста	Уровень регенерации (%)		Ссылка
	min	max	
МС, витамин В5; БАП – 0, 1, 2, 4 мг/л; сахароза – 30 г/л; агар – 8 г/л; TDZ – 0–2	25	100	Kantayos, Bae, 2019a
МС, БАП – 2 мг/л; ИМК – 2,7 мг/л; НУК – 2,3 мг/л	45	90	Mangena, Mokwala, 2019
МС, БАП – 2 мг/л	50	66,5	Mangena et al., 2020
МС, витамин В5; миоинозит – 100 мг/л; сахароза – 30 г/л; 2,4-D – 20–40 мг/л; Gelrite – 2 г/л	0	85	Raza et al., 2020
МС, кинетин – 4 мг/л, НУК – 0,1 мг/л; сахароза – 30 г/л	5	20	Aslam et al., 2020
1/2 МС, кинетин – 4 мг/л, НУК – 0,1 мг/л; сахароза – 30 г/л	20	80	
1/3 МС, кинетин – 4 мг/л, НУК – 0,1 мг/л; сахароза – 30 г/л	4	20	
1/4 МС, кинетин – 4 мг/л, НУК – 0,1 мг/л; сахароза – 30 г/л	2	15	
МС, БАП – 0,5; 1; 1,5; 2; 3 и 6 мг/л	27	96,8	Soto et al., 2013
МС, миоинозит – 100 мг/л; MES – 585,6 мг/л; L-пироглутаминовая кислота – 100 мг/л; зеатин – 1 мг/л; ГК – 0,5 мг/л; ИУК – 0,1 мг/л; БАП – 1,67 мг/л	10	100	Raza et al., 2017
МС с витамином В5; БАП и кинетин в концентрациях 0, 1, 2, 4 мг/л; сахароза – 30 г/л; агар – 8 г/л	0	100	Kantayos, Bae, 2019b
МС с витамином В5; БАП – 3 мг/л; ИМК – 0,2 мг/л; кинетин – 0,5 мг/л; сахароза – 30 г/л; агар – 8 г/л	6	33	Mora Vasquez et al., 2020
МС ₁ , 6-БАП – 1 мг/л; ИУК – 0,1 мг/л	27,0	51,2	Varlamova et al., 2018
МС ₂ , 6- БАП – 1 мг/л; 2,4-D – 0,5 мг/л; ИУК – 0,1 мг/л	18,5	35,1	
МС ₃ , 6-БАП – 0,5 мг/л; ИУК – 0,1 мг/л	21,3	43,8	
МС ₄ , 6-БАП – 0,5 мг/л; 2,4-D – 0,5 мг/л; ИУК – 0,1 мг/л	12,3	25,0	
МС, ГК – 0,5 мг/л; зеатин – 1 мг/л; ИУК – 0,1 мг/л; БАП – 1,67 мг/л; ГК – 0,5 мг/л; витамин В5 – 3,2 г/л	5,7	37,7	Sojková et al., 2016
МС, БАП – 1,13 мг/л; ГК – 0,5 мг/л	36	56	Efremova et al., 2017

Сокращения: МС – питательная среда Мурасиге–Скуга (Murashige, Skoog, 1962); TDZ – тидиазурон; БАП – 6-бензиламинопурин; ГК – гиббереллиновая кислота; ИУК – индолил-3-укусная кислота; ИМК – индолил-3-масляная кислота; НУК – α-нафтилуксусная кислота; 2,4-D – 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота; MES – 2-(N-морфолино)этансульфоно-вая кислота

Abbreviations: МС – Murashige–Skoog culture medium (Murashige, Skoog, 1962); TDZ – thidiazuron; BAP – 6-benzylaminopurine; NA – gibberellic acid; IAA – indolyl-3-acetic acid; IMA – indolyl-3-butyric acid; NAA – α-naphthylacetic acid; 2,4-D – 2,4-dichlorophenoxyacetic acid; MES – 2-(N-morpholino)ethanesulfonic acid

Н. В. Варламова с коллегами (Varlamova et al., 2018) использовали в работе четыре питательные среды на основе МС с добавлениями БАП (1 мг/л), 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-D) (0,5 мг/л), ИУК (0,1 мг/л) в разных концентрациях. В результате была выбрана среда МС₁ с минимальным содержанием регуляторов роста: на ней наблюдали наиболее высокий уровень регенерации – 51,2%.

Выше было показано, что уровень регенерационной способности в большинстве работ зависел от добавления в питательную среду фитогормонов в различной концентрации. Однако данные разных авторов противоречивы. Так, в работе N. Soto et al. (2013) при добавлении БАП (1–2 мг/л) регенерация составила 87–97%. При добавлении в среду более высокой концентрации БАП (от 3–6 мг/л) процент регенерации снижался до низкой границы – 27%. В то же время в статье V. Kantayos, C. H. Bae (2019b) при добавлении БАП (4 мг/л) отмечали уровень регенерации в диапазоне 87,5–98%. Те же авторы показали, что при содержании в среде только кинетина (1, 2, 4 мг/л) процент регенерации составил 76,7–100% (Kantayos, Bae, 2019b). В приведенных примерах изучены разные сорта сои, в связи с чем можно предположить, что уровень регенерации определяется не только составом среды, но и генотипом.

В работе G. Raza et al. (2017) при добавлении в питательную среду БАП (1,67 мг/л), ГК (0,5), ИУК (0,1 мг/л) и витамина В5 удалось добиться высоких показателей регенерации – от 70% до 100% (см. табл. 1).

В работе Е. С. Ефремовой с соавторами проводили оценку регенерационного потенциала при агробактериальной трансформации, использовали среду МС с добавлением 6-БАП (1,13 мг/л) и ГК (0,5 мг/л). Эффективность регенерации эксплантов составила 36–56% (Efremova et al., 2017).

Ряд авторов не добавляли витамины в состав питательных сред (Varlamova et al., 2018; Mangena, Mokwala, 2019; Mangena et al., 2020; Aslam et al., 2020), при этом уровень регенерации достоверно не отличался от данных других исследователей. Так, уровень регенерации на среде без витаминов (Aslam et al., 2020) составил 80%, с витаминами – 100% (Raza et al., 2017).

Приведенные примеры показывают, что качественный и количественный состав питательной среды и регуляторов роста в ней оказывают влияние на развитие эксплантов всех изученных разными авторами генотипов.

Влияние типа экспланта

При введении в культуру *in vitro* использовали семена сои, а для получения эмбрионного каллуса разные авторы применяли различные виды эксплантов: сегменты стебля, семядольные узлы, гипокотили и др. (Soto et al., 2013; Sojková et al., 2016; Efremova et al., 2017; Varlamova et al., 2018; Kantayos, Bae, 2019a, 2019b; Raza et al., 2017, 2020; Aslam et al., 2020; Mangena et al., 2020).

В качестве эксплантов для регенерации одного генотипа сои были использованы семядольные узлы, уровень регенерации достигал 96,8% (Soto et al., 2013). В более поздних работах других авторов, проведенных на аналогичных эксплантах одного-двух образцов сои, удалось достичь 80% регенерирующих эксплантов (Mangena, 2020). Отметим, что аппроксимировать полученные результаты на другие эксперименты с другими образцами сои не представляется возможным, поскольку вывода об

эффективности того или иного типа экспланта для расширенной выборки на основании изучения единичных генотипов сделать нельзя.

G. Raza et al. (2017) получили высокий процент регенерации (до 100% регенерирующих эксплантов) в экспериментах по генетической трансформации при использовании цельных гипокотилей и семядольных узлов. Регенерационная способность у половинок гипокотилей тех же образцов составила до 87%. В более поздней работе те же авторы для того же набора сортов сои в качестве эксплантов использовали незрелые семядоли (Raza et al., 2020); при этом был получен уровень регенерации от 0 до 85% в зависимости от генотипа. Не очень понятен авторский выбор незрелых семядолей в качестве экспланта, поскольку в более ранней работе тех же авторов с тем же набором сортов был получен более высокий процент регенерации других типов экспланта (цельные гипокотили и семядольные узлы).

В работе Н. В. Варламовой с соавторами (Varlamova et al., 2018) при использовании в качестве экспланта сегментов стебля регенерация составила 12,3–51,2%. Авторы при этом не уточняли, какие именно части стебля использовали в работе.

V. Kantayos и С. Н. Вае (2019) в своем эксперименте с образцами сои использовали три типа экспланта (семядоли, семядольный узел, гипокотиль), причем только один (семядольный узел) из них показал высокую регенерационную способность: 66,7–100%. Таким образом, наиболее эффективный тип экспланта, по их данным – семядольные узлы (Kantayos, Bae, 2019b). Одновременно, в 2019 году, те же авторы проводили эксперимент с образцами гороха, в качестве экспланта были взяты семядольные узлы, которые проявили регенерацию от 25 до 100%, что, по мнению авторов, было обусловлено не только и не столько типом экспланта, а, вероятнее всего, добавлением в питательную среду БАП в различных концентрациях (0–4 мг/л).

Таким образом, эффективность регенерации зависит от экспланта: в рассмотренных работах чаще всего были использованы семядольные узлы. Экспланты показывали хороший уровень (до 100%) регенерации в культуре *in vitro*.

Влияние генотипа

Н. В. Варламова с соавторами (Varlamova et al., 2018) выявили достоверные отличия по уровню регенерации в зависимости от генотипа: у образца Линия 1476 регенерация составила 25–51,2%, у образца Линия 1477 – от 12,3 до 27%. Однако отметим, что для окончательного вывода о роли генотипа требуется большее число изученных образцов.

J. Sojková et al. (2016) утверждают, что регенерация достоверно зависела от генотипа ($p \leq 0,001$). Так, регенерация сортов составила: 'Merlin' – 36,6% и 'Gallec' – 37,7%, а самые низкие показатели были у сортов 'Naya' (5,7%) и 'Silensia' (8,0%). По данным авторов, низкий уровень регенерации может быть связан со стрессовой реакцией растений на культивирование в условиях *in vitro*.

В работе Raza et al. (2017) регенерация составила 70% у сорта 'Snowy' и 100% у сорта 'Bunya'. У других сортов процент регенерации составил: 80% – 'Bragg' и 90% – 'Moon B1'. Наиболее сильное влияние генотипа отмечено авторами при использовании бобов в качестве экспланта: в зависимости от генотипа уровень регенерации был от 0 до 85% (Raza et al., 2017, 2020).

V. Kantayos и С. Н. Вае (2019b) изучали в своей работе пять генотипов сои и получили различный уровень регенерации – от 0 до 100% (см. табл. 1). Авторы отметили, что регенерация не зависит от генотипа, а определяется типом экспланта, а самым сильнодействующим фактором, по их мнению, является состав и концентрация регуляторов роста в питательной среде. Однако результаты других авторов с данным выводом не согласуются.

Заключение

Анализ всех описанных факторов показал, что эффективность регенерации сои в культуре *in vitro* зависит от содержания в питательной среде регуляторов роста (часто встречающиеся – БАП, ИУК, кинетин) и витаминов (В5), источников углевода (мальтоза, сахароза, глюкоза, фруктоза), а также от генотипа и типа экспланта. В перспективе развития работ по геномному редактированию образцов сои наиболее целесообразно использовать в качестве экспланта семядольные узлы, семядоли и сегменты стебля проростков, полученных из семян.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 21-66-00012.

This work was supported by the Russian Science Foundation project № 21-66-00012.

References / Литература

- Abugalieva S. Genetic diversity of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Biotechnology. Theory and practice*. 2013;(4):13-19. [in Russian] (Абугалиева С. Генетическое разнообразие сои (*Glycine max* (L.) Merrill). *Биотехнология. Теория и практика*. 2013;(4):13-19). DOI: 10.11134/btp.4.2013.2
- Abugalieva S.I., Volkova L.A., Zhidovinova A.V., Ledovskoy Yu.S., Turuspekov E.K. Genotyping of soybean varieties in Kazakhstan using ISSR markers. *Bulletin of Kazakh National University. Experimental Biology*. 2010;(3)8-11. [in Russian] (Абугалиева С.И., Волкова Л.А., Жидовинова А.В., Ледовской Ю.С., Туруспеков Е.К. Генотипирование сортов сои Казахстана с использованием ISSR-маркеров. *Вестник Казахского национального университета. Серия биологическая*. 2010;(3) 8-11).
- Aslam M.M., Karanja J.K., Zhang Q., Lin H., Xia T., Akhtar K. et al. *In vitro* regeneration potential of white lupin (*Lupinus albus*) from cotyledonary nodes. *Plants*. 2020;9(3):318. DOI: 10.3390/plants9030318
- Bakulina A.V., Shirokikh I.G. Increasing of barley productivity and adaptability by using genetic modification technologies. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(1):5-19. [in Russian] (Бакулина А.В., Широких И.Г. Подходы к повышению продуктивности и адаптивности ячменя с помощью технологической генетической модификации. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019;20(1):5-19). DOI: 10.30766/2072-9081.20.1.05-19
- Bragina V.V., Kocheva N.S. Study of cultural practices of new soybean varieties under the conditions of the Primorsky region. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2017;8(154):33-38. [in Russian] (Брагина В.В., Кочева Н.С. Изучение агротехнических приемов возделывания новых сортов сои в условиях Приморского края. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2017;8(154):33-38).
- Ceasar S.A., Rajan V., Prykhozhiy S.V., Berman J.N., Ignacimuthu S. Insert, remove or replace: A highly advanced genome editing system using CRISPR/Cas9. *Biochimica et Biophysica Acta*. 2016;1863(9):2333-2344. DOI: 10.1016/j.bbamcr.2016.06.009
- Chylinski K., Makarova K.S., Charpentier E., Koonin E.V. Classification and evolution of type II CRISPR-Cas systems. *Nucleic Acids Research*. 2014;42(10):6091-6105. DOI: 10.1093/nar/gku241
- Efremova O.S., Shkryl Yu.N., Veremeichik G.N. Regeneration potential *in vitro* of soybean varieties in agrobacterial transformation. *Agrarny vestnik Primorya = Agrarian Bulletin of Primorye*. 2017;4(8):21-23. [in Russian] (Ефремова О.С., Шкрыль Ю.Н., Веремейчик Г.Н. Регенерационный потенциал *in vitro* сортов сои (*Glycine max* (L.) Merr.) при агробактериальной трансформации. *Аграрный вестник Приморья*. 2017;4(8):21-23).
- Feng C., Hou A., Chen P., Cornelious B., Shi A., Zhang B. Genetic diversity among popular historical southern U.S. soybean cultivars using AFLP markers. *Journal of Crop Improvement*. 2008;22(1):31-46. DOI: 10.1080/15427520802042879
- Gasiunas G., Siksnys V. RNA-dependent DNA endonuclease Cas9 of the CRISPR system: Holy Grail of genome editing? *Trends in Microbiology*. 2013;21(11):562-567. DOI: 10.1016/j.tim.2013.09.001
- Glazko V.Yu., Dubin A.V., Calendar R.N., Glazko G.V., Sherepitko V.I., Sozinov A.A. Genetic relationships between soybean varieties assessed using ISSR markers. *Cytology and Genetics*. 1999;33(5):47-51. [in Russian] (Глазко В.Ю., Дубин А.В., Календарь Р.Н., Глазко Г.В., Шерепитко В.И., Созинов А.А. Генетические взаимоотношения между сортами сои, оцененные с использованием ISSR-маркеров. *Цитология и генетика*. 1999;33(5):47-51).
- Kantayos V., Bae C.H. Optimization of shoot Induction, Histological study and genetic stability of *in vitro* cultured *Pisum sativum* cv. 'Sparkle'. *Korean Journal of Plant Resources*. 2019a;32(1):19-28. DOI: 10.7732/kjpr.2019.32.1.019
- Kantayos V., Bae C.H. Optimized shoot induction and histological study of *in vitro* cultured Korean soybean cultivars. *Korean Journal of Plant Resources*. 2019b;32(3):237-243. DOI: 10.7732/kjpr.2019.32.3.237
- Korotkova A.M., Gerasimova S.V., Khlestkina E.K. Current achievements in modifying crop genes using CRISPR/Cas system. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(1):29-37. DOI: 10.18699/VJ19.458
- Korotkova A.M., Gerasimova S.V., Shumny V.K., Khlestkina E.K. Crop genes modified using CRISPR/CAS system. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(2):250-258. [in Russian] (Короткова А.М., Герасимова С.В., Шумный В.К., Хлесткина Е.К. Гены сельскохозяйственных растений, модифицированные с помощью системы CRISPR/Cas. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(2):250-258). DOI: 10.18699/VJ17.244
- Kozyrenko M.M., Fisenko P.P., Artyukova E.V. Analysis of genetic diversity of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars and somaclonal lines by marking of inter-simple sequence repeats. *Biotechnology*. 2007;(1):1-15.
- Leenay R.T., Beisel C.L. Deciphering, communicating, and engineering the CRISPR PAM. *Journal of Molecular Biology*. 2017;429(2):177-191. DOI: 10.1016/j.jmb.2016.11.024

- Lomov N., Borunova V., Rubtsov M.A. CRISPR/Cas9 technology for targeted genome editing. *Biopolymers and Cell*. 2015;31(4):243-248. DOI: 10.7124/bc.0008E7
- Luo M.L., Leenay R.T., Beisel C.L. Current and future prospects for CRISPR-based tools in bacteria. *Biotechnology and Bioengineering*. 2016;113(5):930-943. DOI: 10.1002/bit.25851
- Lysenko Y. TOP-10 soybean producers in the world in 2019 (TOP-10 proizvoditeley soi v mire v 2019 godu. Latifundist.com. 2020). [in Russian] (Лысенко Ю. ТОП-10 производителей сои в мире в 2019 году. Latifundist.com. 2020). URL: <https://latifundist.com/rating/top-10-proizvoditelej-soi-v-mire-v-2019-godu> [дата обращения: 19.01.2021].
- Nemudryi A.A., Valetdinova K.R., Medvedev S.P., Zakian S.M. TALEN and CRISPR/Cas genome editing systems – tools of discovery. *Acta Naturae*. 2014;6(3):19-40. DOI: 10.32607/20758251-2014-6-3-19-40
- Novikova L.Yu., Seferova I.V., Nekrasov A.Yu., Perchuk I.N., Shelenga T.V., Samsonova M.G. et al. Impact of weather and climate on seed protein and oil content of soybean in the North Caucasus. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(6):708-715. [in Russian] (Новикова Л.Ю., Сеферова И.В., Некрасов А.Ю., Перчук И.Н., Шеленга Т.В., Самсонова М.Г. и др. Влияние погодноклиматических условий на содержание белка и масла в семенах сои на Северном Кавказе. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(6):708-715). DOI: 10.18699/VJ18.414
- Makarova K.S., Wolf Y.I., Alkhnbashi O.S., Costa F., Shah S.A., Saunders S.J. et al. An updated evolutionary classification of CRISPR-Cas systems. *Nature Reviews. Microbiology*. 2015;13(11):722-736. DOI: 10.1038/nrmicro3569
- Mangena P. Benzyl adenine in plant tissue culture-succinct analysis of the overall influence in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] seed and shoot culture establishment. *Journal of Biotech Research*. 2020;11(1):23-34.
- Mangena P., Mokwala P.W. The influence of seed viability on the germination and *in vitro* multiple shoot regeneration of soybean (*Glycine max* L.). *Agriculture*. 2019;9(2):35. DOI: 10.3390/agriculture9020035
- Marchisio M.A., Huang Z. CRISPR-Cas type II-based synthetic biology applications in eukaryotic cells. *RNA Biology*. 2017;14(10):1286-1293. DOI: 10.1080/15476286.2017.1282024
- Mora Vasquez S., García-Lara S., Cardineau G.A. Phenotypic traits of Mexican soybean seeds and their correlation with *in vitro* shoot induction and susceptibility to *Agrobacterium* infection. *Acta Botanica Mexicana*. 2019;126:e1421:1-12. DOI: 10.21829/abm126.2019.1421
- Mudibu J., Nkongolo K.K.C., Mehes-Smith M., Kalonji-Mbuyi A. Genetic analysis of a soybean genetic pool using ISSR marker: Effect of gamma radiation on genetic variability. *International Journal of Plant Breeding and Genetics*. 2011;5(3):235-245. DOI: 10.3923/ijpb.2011.235.245
- Murashige T., Skoog F.A. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962;15(3):473-497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
- Raza G., Singh M.B., Bhalla P.L. *In vitro* plant regeneration from commercial cultivars of soybean. *BioMed Research International*. 2017;2017:7379693. DOI: 10.1155/2017/7379693
- Raza G., Singh M.B., Bhalla P.L. Somatic embryogenesis and plant regeneration from commercial soybean cultivars. *Plants*. 2020;9(1):38. DOI: 10.3390/plants9010038
- Sainger M., Chaudhary D., Dahiya S., Jaiwal R., Jaiwal P.K. Development of an efficient *in vitro* plant regeneration system amenable to *Agrobacterium*-mediated transformation of a recalcitrant grain legume blackgram (*Vigna mungo* L. Hepper). *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2015;21(4):505-517. DOI: 10.1007/s12298-015-0315-1
- Salina E.A. Genome modeling and editing technologies for solving the breeding challenges. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2016;30(9):9-14. [in Russian] (Салина Е.А. Технологии геномного моделирования и редактирования для решения задач селекции растений. *Достижения науки и техники АПК*. 2016;30(9):9-14).
- Schmutz J., Cannon S.B., Schlueter J., Ma J., Mitros T., Nelson W. et al. Genome sequence of the palaeopolyploid soybean. *Nature*. 2010;463(7278):178-183. DOI: 10.1038/nature08670
- Seferova I.V., Novikova L.Yu. Climatic factors affecting the development of early soybean accessions in the environments of the Russian Northwest. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2015;176(1):88-97. [in Russian] (Сеферова И.В., Новикова Л.Ю. Климатические факторы, влияющие на развитие скороспелых образцов сои в условиях Северо-Запада РФ. *Труды по прикладной ботанике генетике и селекции*. 2015;176(1):88-97). DOI: 10.30901/2227-8834-2015-1-88-97
- Seferova I.V., Vishnyakova M.A. Soybean gene pool from VIR collection for the promotion of agronomical area of the crop to the north. *Legumes and Groat Crops*. 2018;3(27):41-47. [in Russian] (Сеферова И.В., Вишнякова М.А. Генофонд сои из коллекции ВИР для продвижения агрономического ареала культуры к северу. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018;3(27):41-47). DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11030
- Shmakov S., Smargon A., Scott D., Cox D., Pyzocha N., Yan W. et al. Diversity and evolution of class 2 CRISPR-Cas systems. *Nature Reviews. Microbiology*. 2017;15(3):169-182. DOI: 10.1038/nrmicro.2016.184
- Sojková J., Žur I., Gregorová Z., Zimová M., Matusikova I., Mihálik D. et al. *In vitro* regeneration potential of seven commercial soybean cultivars (*Glycine max* L.) for use in biotechnology. *Nova Biotechnologica et Chimica*. 2016;15(1):1-11. DOI: 10.1515/nbec-2016-0001
- Soto N., Ferreira A., Delgado C., Enriquez G.A. *In vitro* regeneration of soybean plants of the Cuban Incasoy-36 variety. *Biotechnología Aplicada*. 2013;30(1):29-38.
- Strygina K.V., Khlestkina E.K. Wheat, barley and maize genes editing using the CRISPR/Cas system. *Biotechnology and Plant Breeding*. 2020;3(1):46-56. [in Russian] (Стрыгина К.В., Хлесткина Е.К. Редактирование генов пшеницы, ячменя и кукурузы с использованием системы CRISPR/Cas. *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(1):46-56). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-1-o2
- Tikhonova N.G., Khlestkina E.K. Genetic editing for improvement of fruit and small fruit crops. *Horticulture and viticulture*. 2019;(4):10-15. [in Russian] (Тихонова Н.Г., Хлесткина Е.К. Генетическое редактирование для улучшения плодовых и ягодных культур. *Садоводство и виноградарство*. 2019;(4):10-15). DOI: 10.31676/0235-2591-2019-4-10-15
- Tolmacheva A.V. Influence of agrometeorological conditions on the growth of soybean culture. *Bulletin of Odessa State Environmental University*. 2013;(15):89-94. [in Russian] (Толмачева А.В. Влияние агрометеорологиче-

ских условий на произрастание культуры сои. *Вісник Одеського державного екологічного університету = Вестник Одесского государственного экологического университета*. 2013;(15):89-94).

- Varlamova N.V., Rodionova M.A., Efremova L.N., Kharchenko P.N., Vysotskii D.A., Khaliluev M.R. Indirect shoot organogenesis of soybean *Glycine max* (L.) Merr. from stem segments and use of the explants for *Agrobacterium*-mediated transformation. *Agricultural Biology*. 2018;53(3):521-530. [in Russian] (Варламова Н.В., Родионова М.А., Ефремова Л.Н., Харченко П.Н., Высоцкий Д.А., Халилуев М.Р. Индукция непрямого органогенеза побегов сои *Glycine max* (L.) Merr. из сегментов стебля для применения в качестве эксплантов при агробактериальной трансформации. *Сельскохозяйственная биология*. 2018;53(3):521-530). DOI: 10.15389/agrobiology.2018.3.521rus
- Vinichenko N.A., Salina E.A., Kochetov A.V. The scope of use of molecular markers in soybean breeding. *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;6(3):107-125. DOI: 10.18699/Letters2020-6-15
- Vlasov V.V., Medvedev S.P., Zakian S.M. "Editors" of genomes from "zinc fingers" to CRISPR ("Redactory" genomov ot "tsinkovykh paltsev" do CRISPR). *Science First Hand*. 2014;2(56):44-53. [in Russian] (Власов В.В., Медведев С.П., Закиян С.М. «Редакторы» геномов от «цинковых пальцев» до CRISPR. *Наука из первых рук*. 2014;2(56):44-53).
- Xu D.H., Abe J., Gai J.Y., Shimamoto Y. Diversity of chloroplast DNA SSRs in wild and cultivated soybeans: Evidence for multiple origins of cultivated soybean. *Theoretical and Applied Genetics*. 2002;105:645-653. DOI: 10.1007/s00122-002-0972-7
- Xu D.H., Gai J.Y. Genetic diversity of wild and cultivated soybeans growing in China revealed by RAPD analysis. *Plant Breeding*. 2003;122(6):503-506. DOI: 10.1046/j.0179-9541.2003.00911.x
- Zhumagulova Zh.B. Improvement of biotechnological methods for preserving the pear gene pool (Sovershenstvovaniye biotekhnologicheskikh metodov sokhraneniya genofonda grushi) [dissertation]: Almaty: Kazakh National Agrarian University; 2014. [in Russian] (Жумагулова Ж.Б. Совершенствование биотехнологических методов сохранения генофонда груши: дис. ... доктора философии. Алматы: Казахский национальный аграрный университет; 2014). URL: https://www.kaznaru.edu.kz/page/dissovet/dissovet_2014/disserzhumagulova.pdf [дата обращения: 26.02.2021].

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Беспалова Е.С., Ершова К.М., Ухатова Ю.В. Регенерация сои в культуре *in vitro* (обзор). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):148-155. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-148-155

Bespalova E.S., Ershova K.M., Ukhatoeva Yu.V. *In vitro* regeneration of soybean (a review). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):148-155. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-148-155

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-148-155>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Bespalova E.S. <https://orcid.org/0000-0002-7298-9212>

Ershova K.M. <https://orcid.org/0000-0002-9593-146X>

Ukhatoeva Yu.V. <https://orcid.org/0000-0001-9366-0216>

Биологические особенности и возделывание кунжута (обзор)

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-156-165

УДК 633.853.74;631.527

Поступление/Received: 16.05.2021

Принято/Accepted: 19.08.2021



Н. В. КИШЛЯН^{1*}, М. Ш. АСФАНДИЯРОВА²,
Т. В. ЯКУШЕВА³, А. Г. ДУБОВСКАЯ¹

¹ Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова.

190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
✉ natalya-kishlyan@yandex.ru*; a.dubovskaya@vir.nw.ru

² Прикаспийский аграрный федеральный научный центр
Российской академии наук,
416251 Россия, Астраханская обл., Черноярский р-н,
с. Соленое Займище, кв. Северный, 8
✉ pniiaz@mail.ru

³ Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова, Кубанская опытная
станция – филиал ВИР,
352183 Россия, Краснодарский край, п. Ботаника,
ул. Центральная, 2
✉ kos-vir@yandex.ru

Biological features and cultivation of sesame (a review)

N. V. KISHLYAN^{1*}, M. SH. ASFANDIYAROVA²,
T. V. YAKUSHEVA³, A. G. DUBOVSKAYA¹

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
✉ natalya-kishlyan@yandex.ru*;
a.dubovskaya@vir.nw.ru

² Caspian Agrarian Federal Scientific Center
of the Russian Academy of Sciences,
Solenoje Zaymishche,
Chernoyarsky District,
Astrakhan Province 416251, Russia
✉ pniiaz@mail.ru

³ N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
Kuban Experiment Station of VIR,
2 Tsentralnaya St., Krasnodar 352183, Russia
✉ kos-vir@yandex.ru

Кунжут – одна из старейших масличных культур, выращиваемая во всем мире благодаря уникальным свойствам семян. Род *Sesamum* L. относится к сем. Pedaliaceae Lindl., включает до 38 видов. Единственный культурный вид *S. indicum* L. (2n = 26) широко культивируется во многих странах мира. Он распространен на территориях от тропических до холодно-умеренных зон, расположенных между 45° с. ш. и 45° ю. ш. Родиной *S. indicum* считают Южную Африку. Семена кунжута содержат 50–63% масла, до 27% белка, 20% углеводов и являются источниками меди, кальция, железа, магния, цинка, витаминов А, В1, С и Е. Семена и масло кунжута используют не только в пищевой промышленности, но и в медицине. Кунжутный шрот – хороший корм для скота. В последнее время, благодаря расшифровке ядерного генома кунжута и разработке различных геномных технологий, стала возможна молекулярная селекция для таких агрономических признаков, как урожай семян, высокое содержание масла и его качество, устойчивость к засухе, переувлажнению, поражению болезнями. Мировое производство семян кунжута, по оценкам ФАО на 2019 г., составило около 7 млн тонн. Наибольшие площади посева сосредоточены в странах Африки, Индии и Китае. В Российской Федерации кунжут можно выращивать в южных регионах: Краснодарском крае, Ставрополье, Ростовской и Астраханской областях. Селекционная работа по кунжуту проводилась во ВНИИ масличных культур, созданы сорта, устойчивые к ряду заболеваний, в первую очередь к бактериозу и фузариозу. В настоящее время селекционные разработки в России практически не ведутся. Свыше 25 тыс. образцов кунжута насчитывается в генбанках мира, в том числе 1,5 тыс. образцов – в коллекции ВИР.

Ключевые слова: *Sesamum indicum* L., кунжутное масло, антиоксиданты, генетические ресурсы, селекция.

Sesame is an ancient oilseed crop grown throughout the arid and subarid climates. Sesame oil has a good taste and is appreciated for its beneficial properties. The genus *Sesamum* L. (Pedaliaceae Lindl.) includes up to 38 species. The only cultivated species is *S. indicum* L. (2n = 26). It is grown in areas located between 45° N and 45° S. South Africa is considered the homeland of *S. indicum*. Sesame seeds contain 50–63% of oil, 25–27% of protein, 20% of carbohydrates, and are sources of such micronutrients as copper, calcium, iron, magnesium, zinc, vitamins A, B1, C and E. Sesame seeds and oil are used not only in the food industry but also in medicine. Sesame meal is a good animal feed. Recently, thanks to the deciphering of the sesame nuclear genome and the development of various genomic resources, including molecular markers for qualitative and quantitative characters, molecular breeding has become possible for such agronomic traits as high oil content and its composition, drought resistance, resistance to waterlogging, disease resistance, and high yield. The world production of sesame seeds according to FAO estimates for 2019 was about 7 million tons. The largest cropping areas are located in Africa, India, and China. In Russia, sesame can be grown in southern regions: Krasnodar and Stavropol Territories, Rostov and Astrakhan Provinces. Breeding work on sesame was carried out at the All-Union Research Institute of Oil Crops, where cultivars resistant to bacterial blight and *Fusarium* wilt were developed. Currently, sesame breeding programs are absent in Russia. There are over 25,000 sesame accessions in the world's genebanks, including about 1,500 accessions in the VIR collection.

Key words: *Sesamum indicum* L., sesame seed oil, antioxidants, genetic resources, breeding.

Введение

Кунжут (*Sesamum indicum* L.) – древняя масличная культура, выращиваемая во всем мире. Кунжут – ценное масличное и лекарственное растение. Кунжутное масло и семена являются важными источниками продуктов питания. В семенах кунжута содержится 50–63% масла, до 27% белка и 20% углеводов. Кунжутное масло стабильно благодаря присутствию природных антиоксидантов, таких как сезамол, сезамин и сезамол. В масле кунжута может содержаться до 46–49% олеиновой, 38–48% линолевой, 8–9% пальмитиновой, 4–5% стеариновой и 0,4–1% арахидиновой жирных кислот. Соотношение двух основных жирных кислот (олеиновой и линолевой) почти идеально, 1:1. Низкий уровень насыщенных жирных кислот (менее 15%) и наличие антиоксидантов оказывают благотворное действие на здоровье человека. Масло кунжута находит широкое применение в кондитерской промышленности для производства конфет, восточных сладостей, маргарина, а также в парфюмерии и медицине. Кунжутное масло при холодном прессовании семян – пищевой продукт с высокими вкусовыми качествами. При горячем прессовании получают техническое масло, используемое, например, при производстве туши для респираторов. Кунжутное масло отличается высоким содержанием витамина Е. Высшие сорта масла используют в медицине для приготовления мазей, масляных эмульсий и инъекционных растворов. Из белых семян кунжута получают тахинное масло, используемое в производстве различных сладостей. Из черных семян готовят ароматные приправы. Жмых семян после отжима масла используют для приготовления тахинной халвы, а жмых от горячего прессования семян – хороший концентрированный корм для животных.

Культура кунжута в мире имеет огромное экономическое значение. В России с 70-х годов XX века кунжут возделывали в Краснодарском крае и на Ставрополье, в настоящее время производственные посевы этой культуры отсутствуют. Динамика импорта кунжута в РФ с каждым годом возрастает (Asfandiyarova et al., 2017). В то же время климатические условия южных регионов Краснодарского края, Астраханской и Ростовской областей позволяют возделывать эту культуру.

Систематика, ботаническое описание и биологические особенности кунжута

Род *Sesamum* L. относится к сем. Pedaliaceae Lindl. Имеются сведения о том, что уже около 3000 лет до н. э. кунжут возделывали в Сирии и Палестине, 2500 лет до н. э. – в Индии, 1750 лет до н. э. – в Вавилонии. Он был известен в древней Греции и Риме, Месопотамии, Аравии, в странах юго-западной Азии, а с начала нашей эры – в Китае (Bedigian, 2004). *S. indicum* является единственным культивируемым видом кунжута и насчитывает около 3000 разновидностей. Его культивируют от тропических до холодно-умеренных зон, расположенных между 45° с. ш. и 45° ю. ш. по всему миру (Kobayashi, 1991).

Род *Sesamum* включает около 38 видов (Kobayashi, 1991). *S. indicum* имеет хромосомный набор $2n = 26$ и небольшой геном – 354 Мб (Zhang et al., 2013a). У диких видов кунжута хромосомный набор – $2n = 26, 32, 52, 58, 64$. Два диких вида *S. capense* Burm. и *S. schenckii* Asch. ex Schinz встречаются во всех регионах распространения кунжута, хромосомный набор – $2n = 26$. Около 30 диких видов произрастают в Тропической Африке, десять

встречаются на Индийском субконтиненте (Индия и Шри-Ланка); пять – в Ост-Индии и еще шесть – в разных странах (Kobayashi, 1991; Bisht et al., 1998).

Существуют противоречивые мнения о происхождении кунжута. Предполагают, что кунжут возник в Африке или на Индийском субконтиненте (Bedigian, 2003). В древних медицинских трудах было записано, что кунжут выращивали в бассейне Нила до 3000 года до н. э. (Nayar, Mehra, 1970). Недавние исследования показали, что окультуривание кунжута произошло в Индии (Bedigian, 2014, 2015). В Африке сконцентрировано 28 видов рода *Sesamum*. Единственный культурный вид *S. indicum* встречается в диком состоянии только в Африке, поэтому наиболее вероятным считают происхождение кунжута культурного из Южной Африки (Obydalo, Ogarkova, 2002). Н. И. Вавилов установил, что основным очагом происхождения кунжута является Абиссинский центр, ныне – Эфиопия (Vavilov, 1935). Большую роль в систематике играют современные молекулярные исследования. D. Bedigian (2015) показал, что последовательность ДНК хлоропластов практически идентична у *S. indicum* и *S. malabaricum* Burm. ($2n = 26$), что указывает на сходство родословных. Последний вид относят к прародителям *S. indicum*.

Кунжут культурный *S. indicum* отличается значительным разнообразием форм. Первая попытка классификации вида принадлежит Г. С. Зайцеву (Zajcev, 1924). В 1941 г. В. М. Гильтебрандтом была разработана более полная систематика *S. indicum*, она была построена на основе изучения мировой коллекции кунжута, собранной ВНИИ растениеводства в довоенные годы (Hiltebrandt, 1941a). Все известные формы он относил к одному виду, описанному К. Линнеем, – *S. indicum*, который делится на два подвида: subsp. *bicarpellatum* Hilt. и subsp. *quadricarpellatum* Hilt. (Hiltebrandt, 1941b). У первого коробочка состоит из двух, у второго – из четырех плодолистиков. Подвид *bicarpellatum* распространен по всему ареалу кунжута, чрезвычайно дифференцирован, имеет практическое значение, отдельные экотипы обладают устойчивостью к болезням, высокомасличные и скороспелые. Подвид *quadricarpellatum* занимает ограниченный ареал, главным образом в Японии, где представлено его наибольшее разнообразие. Кроме Японии отдельные представители этого подвида встречаются в Индии, Палестине и на острове Кипр. По данным В. М. Гильтебрандта, все разнообразие этих двух подвигов можно разбить на два экологических типа: гигро- и ксерофильные. Вследствие этого subsp. *bicarpellatum* делится на gr. *asiaticum* Hilt. (ксерофильный, узколистный) и gr. *abyssinicum* Hilt. (гигрофильный, широколистный), а subsp. *quadricarpellatum* – на gr. *palestinicum* Hilt. (ксерофильный) и gr. *japonicum* Hilt. (гигрофильный). Данные разновидности имеют морфологические различия, обладают разной степенью устойчивости к болезням, различны по выходу масла и скороспелости.

Кунжут – однолетнее травянистое растение, требовательное к теплу и плодородию почв. Лучшими для него являются легкие плодородные почвы, в то время как засоленные и тяжелые непригодны.

Корневая система развита слабо, она состоит из стержневого корня и боковых ответвлений. Корень имеет толстое основание, но при углублении в почву быстро утончается, что приводит к слабой сопротивляемости механическим повреждениям и повышенной требовательности к питательной среде (Hiltebrandt, 1931, 1941b).

Стебель кунжута прямостоячий, четырех- и восьмигранный, в большинстве случаев ветвистый, число ветвей колеблется от 1-2 до 15. Имеются неветвистые формы. Высота растения может достигать 100–150 см и более, на богаре – 50–60 см.

Лист имеет длинный черешок, а листовая пластинка очень разнообразна по форме (с различной шириной, зубчатостью и рассеченностью). Форма листа зависит от положения его на стебле. У одних сортов все листья цельные, нижние – крупные и широкие, кверху уменьшаются, у других нижние листья рассечены, верхние – цельные, узкие, ланцетовидные. Расположение листьев очередное или супротивное.

Цветок крупный, венчик трубчатый или воронковидно-трубчатый, двугубый, сросшийся из пяти или большего числа лепестков, до 4 см в длину. Чашечка сросшаяся, пяти- или восьмизубчатая, зеленая, сильно опушенная. Окраска венчика от белой и розовой до фиолетовой. Рыльце на длинном столбике. Число тычинок – 5 или больше. Пестик с длинным столбиком и 2–4-лопастным рыльцем. У основания верхней завязи, окружая ее сплошным кольцом, находится нектарник. Цветки расположены по 1–3 в пазухах листьев, на коротких цветоножках.

Плод – вытянутая опушенная коробочка, состоящая из двух или четырех плодолистиков. В коробочке могут быть ложные перегородки, которые предохраняют семена от излишнего осыпания. У отдельных форм перегородки отсутствуют. В коробочке содержится 70–80 семян. Семена плоские, белые, желтые, бурые, коричневые или черные. Масса 1000 семян – 2,5–5,0 г.

Кунжут – самоопылитель, но возможно и перекрестное опыление (Vakhrusheva, 1998). Процент перекрестного опыления по годам изменяется в зависимости от количества насекомых и может достигать 20–30%. Так как кунжут относится к растениям южных стран, он предъявляет довольно высокие требования к основному фактору произрастания – теплу. Для полного созревания необходима сумма эффективных температур 2500–3000°C. При определении районов культивации необходимо учитывать прежде всего температурные условия периода с мая по октябрь.

Установлено, что всхожесть образцов кунжута с белыми семенами после длительного хранения (в течение 30 лет) даже при обычной температуре составляет более 80% (Kobayashi, 1986; Ogasawara et al., 1998). Есть мнение, что различные антиоксиданты в семенах кунжута играют важную роль в сохранении его всхожести (Ogasawara et al., 1998).

Семя кунжута покрыто тонкой влагопроницаемой оболочкой. При благоприятных температурных условиях (14–15°C) и достаточной влажности всходы появляются на 5–6 день после посева. Семена кунжута мелкие, поэтому требуется особая тщательность обработки почвы при посеве, глубина заделки семян 2–3 см. После появления всходов наступает некоторое затишье в развитии надземных частей, в это время развивается корневая система. Цветение кунжута также зависит от температурного фактора. При понижении температуры не только задерживается раскрытие венчика, но и не происходит оплодотворения. Для хорошего развития кунжута необходима температура 23–25°C. Бутоны появляются на 30-й день после всходов, цветение наступает через 45–55 дней, а созревание – через 100–120 дней. Самые скороспелые формы созревают через 85–90 дней.

Летнюю и осеннюю засуху кунжут переносит по-разному, в зависимости от экотипа и свойств сорта. Многие

авторы отмечают, что устойчивость к засухе и высоким температурам делает кунжут хорошо подходящим для тех регионов, где немногие другие культуры могут выжить. Скороспелки успевают созреть на минимальных запасах влаги. Перспективным является выращивание кунжута в условиях Астраханской области и Кубани (Краснодарский край), где высокая теплообеспеченность допускает посевы всех групп кунжута, начиная от ультраскороспелых до среднеспелых. При 3–4-х поливах урожай кунжута значительно увеличивается (Asfandi-yarova et al., 2017).

Серьезной проблемой при выращивании кунжута является осыпаемость семян из-за растрескивания коробочек при созревании, которая делает затруднительной механизированную уборку этой культуры. При созревании верхних коробочек нижние уже растрескиваются и теряют семена. Растения срезают до начала растрескивания коробочек, оставляют в вертикальном положении до созревания и затем обмолачивают. В Индии и ряде стран Африки уборка кунжута проводится преимущественно вручную.

Поражаемость болезнями кунжута зависит от зоны возделывания, погодных условий в годы выращивания, генотипа сорта или образца. Для юга европейской части России характерны фузариоз и бактериоз (Obydalo, Ogar-kova, 2002).

Фузариоз – одно из самых губительных грибных болезней кунжута (Hiltebrandt, 1931). *Fusarium vasinfectum* Atk. var. *sesami* Jacz. поражает кунжут на разных стадиях развития, в зависимости от чего приводит либо к гибели, либо к снижению урожая. Заболевание проявляется в почернении стебля, идущем от корневой шейки, и засыхании листьев. Фузариоз вызывает серьезные экономические потери при возделывании кунжута в разных странах. Лучшим средством борьбы с болезнью является создание сортов с генетической устойчивостью (Dossa et al., 2017).

Бактериоз вызывают бактерии *Pseudomonas sesami* Malkoff. Заболевание поражает черешки листьев, стебель, коробочки. На стеблях и ветвях болезнь проявляется в виде темных широких полос.

Камедетечением (появляется как ответ растения на бактериальное заболевание) поражаются только широколистные формы кунжута, как правило позднеспелые образцы из Африки и Америки (Hiltebrandt, 1931). Камедетечение появляется на черешках и листьях в виде темно-бурых капель камеди. Обильное течение камеди приводит к скручиванию листьев. Иногда растение совершенно погибает.

Мучнистая роса, возбудитель – гриб *Oidium sesami* Schembel, проявляется в виде небольших серых мучнистых звездчатых пятен на верхней стороне листа. Наиболее сильно поражаются образцы из южного Афганистана и Палестины. Болезнь может снижать урожай на 5–10% и более.

Альтернариоз представляет опасность для кунжута в любой фазе развития. У всходов буреют и скручиваются семядольные листья и первые настоящие листочки, при поражении точки роста растение погибает. *Alternaria* sp. вызывает листовую пятнистость. В Корее возбудитель пятнистости листьев у кунжута был идентифицирован как *A. simsimi* E.G. Simmons (Choi et al., 2014). В Нигерии пятнистость листьев вызывает *Cercospora sesami* Zimm., потери урожая от которой варьируют от 22 до 53% (Enikuomehin, Peters, 2002).

Также могут значительно снижать продуктивность растений кунжута аскохитоз, возбудитель – гриб *Asco-*

chyta sesami Miura; вертициллезное увядание, возбудитель – гриб *Verticillium dahliae* Kleb.; серая гниль, возбудитель – гриб *Botrytis cinerea* Pers.; филлостикноз, возбудитель – гриб *Phyllosticta sesami* Woronich. В Индии серьезным заболеванием кунжута является филлодия, вызываемая микоплазмоподобным организмом (фитоплазмой). Пораженные растения остаются низкорослыми, генеративные органы изменяются в листовые структуры, не несущие коробочек и семян, что приводит к потере урожая до 33,9% (Singh et al., 2007).

Помимо болезней, большой вред посевам кунжута причиняют вредители: сверчок степной (*Gryllus desertus* Pall.), озимая совка (*Agrotis segetum* Schiff.), наземная совка (*Laphygma exigua* Hb.), цикадки (*Cicadatra ochreata* Mel.), табачный трипс (*Thrips tabaci* Lind.), длиннохвостый кузнечик (*Tettigonia caudata* Ch.), саранча (*Locusta migratoria* L.).

Использование

Кунжут является важным компонентом субтропического и тропического сельского хозяйства благодаря высокому содержанию пищевого масла и белка (Wan et al., 2015). Семена кунжута содержат сбалансированное по жирнокислотному составу масло, включающее биологически активные фенолы – лигнаны, белок, витамины группы В, витамин Е, фолиевую кислоту, микроэлементы Mg, Ca, Cu, Zn, Fe, P. Очищенные от оболочек семена кунжута, обжаренные или сырые, широко используются в европейской, азиатской и североамериканской хлебопекарной промышленности.

Кондитерские изделия и кунжутную пасту получают из очищенных семян (Anilakumar et al., 2010). Семена кунжута используют для получения тахинной халвы и разнообразных восточных сладостей. Жмых кунжута, получаемый при холодном прессовании, содержит около 40% белка и 8% масла, используют его в кондитерской промышленности (Vakhrusheva, 1998). Для получения кунжутной муки семена очищают от семенной оболочки на маслоэкстракционных заводах. Волокнистая шелуха горька и неудобоварима. Мука богата аминокислотами: метионином и триптофаном, что позволяет относить выпечку из нее к продуктам здорового питания. В Индии кунжутная мука является важным продуктом питания.

Значительное внимание уделяется цвету семенной оболочки кунжута. При биохимическом исследовании образцов, выращенных в Китае, было установлено, что образцы с белыми семенами имеют большее содержание жира и белка (52,61% и 22,20% соответственно), чем образцы с черными семенами (48,40% и 20,82% соответственно) (Капу, 2011). В образцах с черными семенами более высокое содержание углеводов, преобладание кальция, калия, фосфора, железа, магния, витаминов А и В1. В белых семенах – большее содержание витаминов Е и С. Черносемянный кунжут активно используют в Индии, Китае, Японии и на Дальнем Востоке России в качестве приправы к рыбным и овощным блюдам, так как он ароматнее. Семена кунжута способны снижать окислительный стресс путем изменения концентрации антиоксидантных ферментов: супероксиддисмутазы, глутатиона, глутатионпероксидазы, каталазы (Afroz et al., 2019). Липидная фракция семян кунжута оказывает стимулирующее действие на здоровье человека: снижает уровень холестерина, способствует снижению заболеваемости некоторыми видами рака, в том числе подавляет рост злокачественной меланомы.

Кунжутное масло – одно из самых ценных пищевых масел. Лигнаны кунжута – сезамол, сезамин и сезамол (Anilakumar et al., 2010). Сезамол – антиоксидант, защищающий и омолаживающий клетки, помогает организму снимать последствия стресса и напряжения. Сезамин рассматривают как модулятор жирового обмена, стимулятор метаболизма γ -токоферола и γ -токотриенола; он способствует запасанию в организме витамина Е. Сезамол – антиоксидант, который не позволяет кунжутному маслу окисляться: оно долго хранится и не портится. Сезамол оказывает противовоспалительное и антиатеросклеротическое действие, используется для снижения высокого кровяного давления, лечения гипергликемии и улучшения липидного профиля плазмы, снижения окислительного стресса (Jayaraj et al., 2020). Противоопухольевый эффект лигнанов кунжута доказывает его целебную ценность (Wu et al., 2019).

Количество масла зависит от генотипа и условий выращивания. При скрининге коллекции кунжута ВИР выявлены высокомасличные формы кунжута с содержанием масла до 63,2% (Yarosh, Ivanenko, 1984). Содержание масла среди 369 изученных в Китае образцов колебалось от 27,9 до 58,7%, а содержание белка – от 16,7 до 27,8% (Li et al., 2014). У 103 изученных образцов Средиземноморского кунжута в Анталии на юге Турции содержание масла варьировало от 32,3 до 57,3% при среднем значении 46,6% (Yol et al., 2015).

Качество масла во многом определяется составом жирных кислот. Установлено, что содержание жирных кислот у кунжута зависит от генотипа сорта, условий выращивания и экотипа (Yarosh, Ivanenko, 1984). При оценке коллекционных образцов ВИР было показано, что в масле кунжута различного происхождения преобладающими являются олеиновая (С18:1) – 39,1–48,4%, линолевая (С18:2) – 38,9–49,5%, пальмитиновая (С16:0) – 6,8–11,5% и стеариновая (С18:0) – 2,4–6,7% кислоты (Ермаков et al., 1982; Yarosh, Ivanenko, 1984). Соотношение олеиновой и линолевой кислот в кунжутном масле (1 : 1) обуславливает его высокое качество. В небольшом количестве содержатся линоленовая (С18:3) – до 0,6%, арахидоновая (С20:0) – 0,2–1,5%, бегеновая (С22:0) – 0,2–3,5%, эйкозеновая (С20:1) – 0,2% кислоты и следы лауриновой (С12:0), миристиновой (С14:0) и додеценовой (С12:1) кислот. Сведения о размахе изменчивости содержания отдельных жирных кислот хорошо согласуются с данными других авторов, показавших, что содержание олеиновой кислоты у кунжута изменяется от 38,2 до 47,3%, а линолевой – от 31,0 до 40,9%, пальмитиновой и стеариновой кислот – от 8,8 до 12,0% и от 6,3 до 8,9% соответственно (Yol et al., 2015). Большое количество олеиновой кислоты снижает риск сердечно-сосудистых заболеваний. Линолевая кислота является незаменимой жирной кислотой для человека и участвует в регуляции липидного обмена.

С получением новых знаний о диетических и полезных для здоровья преимуществах кунжута рыночный спрос на его семена и масло постоянно растет. Однако необходимо знать, что кунжут, как и арахис, может быть аллергенным продуктом для человека.

Жмых после отжима масла содержит высококачественный протеин, пригодный для кормления животных. Как корм для скота используют также муку из неочищенных семян кунжута. Другое направление использования кунжутного масла ориентировано на производство биодизельного топлива в качестве альтернативы дизельному.

Возделывание и селекция кунжута

Кунжут имеет огромное экономическое значение в странах Африки, Индии, Китае, Южной Америке и выращивается мелкими фермерами. Индия, Китай, Центральная Азия, Ближний Восток, Абиссиния признаны центром разнообразия кунжута в классических исследованиях (Zeven, Zhukovsky, 1975). В Европе кунжут встречается во всех странах по берегам Средиземноморья, хотя в настоящее время возделывается в незначительных объемах. Более 70 стран мира выращивают кунжут, подтверждая постоянно растущий спрос и интерес к этой культуре. В Юго-Восточной Азии (Индия, Пакистан, Мьянма) 70% посевных площадей занято под кунжутом, в Африке (Судан, Нигерия, Сьерра-Лионе, Эфиопия) – 23%, в Северной и Южной Америке (Гватемала, Венесуэла, Мексика) – 7%. Эфиопия – один из известных крупных производителей кунжута в странах Африки к югу от Сахары (Baraka, Berhe, 2019). Мировая площадь посевов кунжута непрерывно растет. В 2009 г. она составляла около 7,0 млн га. В 2014 г. было произведено более 6 млн тонн семян кунжута на площади почти 11 млн га (Dossa et al., 2017). По данным ФАОСТАТ, в 2019 г. было произведено около 7 млн тонн семян кунжута на площади более 11 млн га (FAOSTAT, 2021). Наибольшие площади посева под кунжутом – в Судане (4,244 млн га), Мьянме (1,505 млн га), Индии (1,420 млн га), Танзании (0,940 млн га), Китае (0,577 млн га). Далее следуют Нигерия, Эфиопия, Уганда, Нигер, Бразилия и другие, всего 78 стран. За последнее десятилетие производство семян кунжута выросло более чем в два раза, а его отпускная цена почти утроилась (FAOSTAT, 2021; Dossa et al., 2019). Наибольшие урожаи в 2019 г., по данным ФАО, получены в Судане (1,210 млн тонн), Китае (0,936 млн тонн), Мьянме (0,745 млн тонн) и Индии (0,689 млн тонн). Меньшими площадями, но более высокой урожайностью (т/га) семян кунжута характеризуются Саудовская Аравия (2,528), Афганистан (2,158), Таджикистан (2,121), Израиль (2,045), Узбекистан (1,767), Италия (1,678), Китай (1,624), Никарагуа (1,429), Египет (1,357), Камерун (1,296), Лаос (1,270). Урожайность (т/га) кунжута в Индии – 0,485, Мьянме – 0,495, Судане – 0,285 (FAOSTAT, 2021).

Первые попытки выращивания кунжута в России относятся к 1777 г. На Кубани кунжут начали возделывать в 1927 г. Предшествующие попытки интродуцировать среднеазиатские и закавказские образцы кунжута были неудачны, так как они сильно болели и погибали. Плановая селекционная работа по выведению сортов кунжута, пригодных для юга европейской части страны, проводилась во ВНИИМК (Obydalo, Ogarkova, 2002). Она была начата еще на опытной станции Круглик в 1929 г. селекционером Н. Ф. Умен. Исходным материалом была коллекция ВИР. С этого времени кунжут возделывали в Краснодарском крае и Ростовской области. На Донской ОС ВНИИМК в 1940 г. Л. А. Ждановым был выведен белосемянный сорт кунжута 'Донской 23' методом индивидуального отбора из образца коллекции ВИР, интродуцированного из Манчжурии. Сорт был скороспелым, устойчивым к фузариозу и слабоосыпающимся. Необходимо было выведение скороспелых, урожайных, высокомасличных сортов, устойчивых к болезням и пригодных для механизированной уборки.

С 1951 г. на Донской ОС ВНИИМК В. Г. Картамышевым была разработана методика скрещивания кунжута без изоляции цветков, получен большой гибридный матери-

ал и на основе 4-кратного индивидуального отбора создан высокомасличный сорт 'Солнечный-24987' (авторы В. Г. Картамышев, Е. В. Картамышева, О. А. Костюк). Сорт раннеспелый (вегетационный период 95–105 дней), устойчивый к фузариозу, с урожайностью 0,80–1,00 т/га и масличностью семян 55–56%. Сорт пригоден к механизированной уборке, семена белые (Kartamyshev, 2008). Благодаря селекционным достижениям ВНИИМК и Донской ОС были созданы сорта, устойчивые к бактериозу и фузариозу, что позволило возделывать кунжут на Кубани и в Ставропольском крае, Ростовской области и южной части Украины.

В 1993 г. во ВНИИМК создан первый отечественный сорт кунжута 'Кубанец 93', заявленный как сорт с нерастрескивающимися коробочками (авторы – Д. И. Обыдало, И. А. Огаркова) с урожайностью 0,89 т/га. К сожалению, селекционная работа по кунжуту во ВНИИМК уже к 1997 г. была прекращена.

Большая работа по изучению внутривидового разнообразия кунжута и выделению образцов с наиболее ценными признаками для селекционного использования была проведена в условиях Узбекистана, в Среднеазиатском филиале ВИР до его закрытия в связи с распадом СССР.

В настоящее время в Государственном реестре селекционных достижений находятся два сорта кунжута, допущенных к использованию. Это сорта: 'Солнечный', селекции ВНИИМК, районирован в 1993 г., и 'Визирь', созданный НИПТИ сорго и кукурузы и районированный в 2014 г. В отличие от скороспелого белосемянного сорта 'Солнечный', сорт 'Визирь' среднеспелый, окраска семян кремовая.

Понимание генетической основы признаков, связанных с урожайностью семян, и применение этих знаний в селекционных программах могут сыграть важную роль в создании стабильных высокоурожайных сортов кунжута. Количество коробочек на растении, количество семян в коробочке и вес семян являются основными составляющими элементами урожайности кунжута. Кроме того, габитус куста, тип ветвления, растрескиваемость коробочек, а также биотические и экологические факторы могут существенно повлиять на урожайность кунжута.

Самым важным фактором, который сдерживает производство кунжута, является биологическое свойство коробочек растрескиваться при созревании; при этом семена высыпаются и урожай может быть потерян полностью. В Венесуэле в 1942 г. был обнаружен спонтанный мутант с нераскрывающимися коробочками (Langham, 1946). В гибридном поколении F_5 от скрещивания сорта 'Criollo' с линией Selection 5 было обнаружено одно растение, которое отличалось от всех остальных тем, что листья были сложены чашечкой вверх. Так как коробочки располагаются в пазухе листа, при созревании они оказались нерастрескивающимися. При скрещивании такого растения с обычным в F_1 получили потомство с растрескивающимися коробочками, а в F_2 – расщепление 3 : 1; мутант с нерастрескивающимися коробочками наследуется как рецессив (*idid*). Однако из-за низкой урожайности и других нежелательных побочных эффектов мутант не использовался в селекционных программах.

Установлено, что у гомозиготных рецессивных растений коробочки не раскрываются из-за структурных изменений в мезокарпии (Ashri, Ladizinski, 1964). Получены мутанты с нераскрывающимися коробочками путем индустриального мутагенеза. Эти мутации также имели побочные эффекты, которые приводили к снижению

урожайности. В 1986 г. в Венесуэле исследователи Д. Г. и Д. Р. Ленгхэмы обнаружили рецессивный мутант (*gsgs*), названный “seamless” (бесшовный), коробочки которого не раскрываются (Ashri, 2010). На основе мутанта был создан сорт ‘Sesaco 32’ (S32) с нерастрескивающимися коробочками, подходящий для механизированной уборки урожая. При использовании метода AFLP обнаружены локусы, связанные с признаком нерастрескивания коробочек, и показано, что причиной мутации может быть относительно большая делеция сегмента хромосомы (Uzun et al., 2003).

В 2018 г. китайскими исследователями проведен генетический анализ мутанта кунжута с нерастрескивающимися коробочками и подтверждено, что данный признак контролируется рецессивным геном *Sicl1* – *Sesamum indicum Curling Leaf* (Zhang et al., 2018). По результатам секвенирования генома установлено, что у сорта ‘Yuzhi 11’ ген *SiCL* состоит из 6835 пн (20 нуклеиновых кислот), а у мутанта *cl1* аллель *Sicl1* был сокращен до 1829 пн (6 нуклеиновых кислот). Делеция привела к раннему завершению трансляции гена *CL*. Мутантные линии *cl1* образовывали только 34–37 коробочек со средней массой семян на растении 4,82 г, в отличие от 10,17 г у сорта ‘Yuzhi 11’.

Предпринимались попытки изучить генетическую природу такого важного признака, как детерминантный тип роста. При обычном индетерминантном типе роста коробочки с семенами у основания растений кунжута созревают, раскрываются и теряют семена, в то время как в верхней части растения все еще образуются цветы. Первые мутанты у кунжута с детерминантным типом роста были получены из популяции M_2 после облучения сортов ‘No-45’ (dt-45) (Ashri, 1981), ‘Muganlı-57’ (dt-1, dt-2, dt-3) и ‘Çamdibi’ (dt-4, dt-5, dt-6) гамма-лучами (Cagırgan, 2006). Получение детерминантных сортов стало приоритетным направлением в программах селекции кунжута. На основе индетерминантного сорта кунжута ‘Yuzhi 11’ (Dt) в 2009 г. были получены детерминантные мутанты: Yuzhi DS899 (линия dt1) методом химического мутагенеза и 08TP092 (линия dt2) с использованием гамма-облучения. Мутантная линия dt1 имеет более короткий период цветения, семена созревают одновременно, что важно при механическом сборе урожая; линия dt2 ограничивает количество узлов с коробочками. Проведенный анализ потомства от скрещивания между сортом ‘Yuzhi 11’ (Dt) и мутантом ‘Yuzhi DS899’ (dt1) в популяции F_2 соответствовал ожидаемому расщеплению в соотношении 3 (Dt) : 1 (dt1) (Zhang et al., 2016). Детерминантный тип роста у кунжута наследуется как рецессив (*dt1*). Были обнаружены два локуса ISSR, связанных с детерминантным типом роста у кунжута, которые могут быть использованы как молекулярные маркеры (Uzun et al., 2009).

Важным агрономическим признаком кунжута является цвет семенной оболочки, так как было показано, что он связан с биохимическими свойствами семян, содержанием и активностью антиоксидантов и даже устойчивостью кунжута к болезням (Zhang et al., 2013b). По данным Д. Р. Ленгхэма (Ashri, 1998), белая окраска семян контролируется рецессивной гомозиготой (*xx*), которая предотвращает образование пигмента и дает белые семена. Нохара при скрещивании образцов белосемянного и черносемянного кунжута получил в F_2 соотношение 9 : 3 : 3 : 1 (черных, темно-коричневых, светло-коричневых и белых семян соответственно) (Nohara, 1933). Был сделан вывод, что цвет семенной оболочки контролируется двумя генами. Н. Baydar и I. Turgut

(2000) сообщили, что цвет оболочки семян может иметь проявление эпистатического расщепления (соотношение 9 : 4 : 3 и 9 : 3 : 4).

На основе генетического анализа расщепления и анализа QTL по цвету оболочки семян кунжута в P_1 , P_2 , F_1 , BC_1 , BC_2 и F_2 показано, что признак окраски семенной оболочки является сложным количественным признаком: он регулируется двумя основными генами и полигенами с аддитивно-доминантными и эпистатическими эффектами (Zhang et al., 2013b). Средняя наследуемость основных генов в BC_1 , BC_2 и F_2 составила 89,30%, 24,00% и 91,11% соответственно, в то время как наследуемость полигенов была низкой: 5,43%, 0,00%, 0,89% в BC_1 , BC_2 и F_2 соответственно.

Благодаря молекулярно-генетическим методам исследования: RAPD- и SSR-маркерам (Ercan et al., 2004; Pandey et al., 2015), AFLP (Laurentin, Karlovsky, 2007) и ISSR (Kim et al., 2002) было выявлено генетическое разнообразие коллекций кунжута, что позволяет проводить отборы и создавать сорта с высокой урожайностью и устойчивостью к абиотическим и биотическим факторам среды. Исследователи расходятся в оценке морфологического и генетического разнообразия образцов кунжута, различающихся по происхождению. В ряде случаев анализ позволил установить, что нет четкой связи между генетическим разнообразием и географическим происхождением образцов кунжута (Zhang et al., 2007). Иногда такая тенденция прослеживается, например, для образцов кунжута из Ирана (Tabatabaei et al., 2011). В то же время при изучении различных популяций кунжута в четырех регионах Турции показан низкий уровень генетического разнообразия между генотипами с различным географическим происхождением и большие различия между генотипами в пределах одного региона (Ercan et al., 2004).

В 2013 г. проведено секвенирование генома кунжута (Zhang et al., 2013 a) и организовано несколько исследовательских групп по геномному проекту кунжута (SGWG). На основе сорта ‘Yuzhi 11’ было определено, что размер генома кунжута составляет примерно 354 Мб. Кроме ядерного генома был расшифрован геном хлоропластов у сортов ‘Ansangga’ с черными семенами (Yi, Kim, 2012) и ‘Yuzhi 11’ с белыми семенами (Zhang et al., 2013b). Сорт кунжута ‘Yuzhi 11’ культивируется в основных производственных регионах Китая и характеризуется высоким содержанием масла (56,7%), устойчивостью к фузариозу и альтернариозу, а также стрессу от переувлажнения. Благодаря исследованиям геномных ассоциаций (GWAS) у кунжута по 56 агрономическим признакам впервые были идентифицированы локусы, лежащие в основе урожайности, содержания и качества масла семян (Wei et al., 2015; Dossa et al., 2016; Yu et al., 2017).

Проведено ассоциативное картирование признаков содержания масла и белка в семенах 369 образцов кунжута с использованием SSR-маркеров (Li et al., 2014). Было обнаружено 19 SSR-маркеров содержания масла с диапазоном значений R^2 от 4% до 29% и 24 маркера содержания белка с диапазоном значений R^2 от 3% до 29%, из которых 19 маркеров были связаны с обоими признаками. В результате скрининга генов, которые были близки к ассоциированным маркерам, было идентифицировано 36 генов-кандидатов, связанных с липидным синтезом. Из 19 маркеров, связанных с содержанием масла, 17 генов расположены вблизи липидного пути и 2 расположены рядом с геном удлинения жирных кислот и геном, кодирующим десатуразу стеариновой кислоты. Получен-

ные результаты послужили ценной основой для идентификации генов синтеза масла и определения их молекулярных маркеров у кунжута (Li C. et al., 2014).

Ген *SiFAD2* у кунжута определяет синтез фермента десатуразы и преобразование олеиновой кислоты в линолевую, которое происходит в эндоплазматическом ретикулуме (Nayeri, Yarizade, 2014; Wei et al., 2015). Несколько генов-кандидатов контроля содержания масла кодируют ферменты, участвующие в синтезе масла. Четыре локуса содержали гены, кодирующие компоненты пути метаболизма масла, включая два гена, кодирующих липазы (*CXE17*, *SIN_1003248* и *GDSL*-подобную липазу, *SIN_1013005*), и два гена, кодирующих липиды (*SIN_1019167* и *SIN_1009923*).

Два основных гена, связанных с лигнификацией (*SiNST1*) и черной пигментацией в семенной оболочке (*SiPPO*), также могут косвенно влиять на содержание масла (Wei et al., 2015). Кроме того, было установлено, что фенотипическая корреляция между содержанием масла и урожайностью кунжута является слабой, что определяет возможность получения сортов с высокой урожайностью и высоким содержанием масла. Состав жирных кислот в кунжутном масле регулируется несколькими ключевыми элементами метаболических путей масла, включая удлинение жирных кислот, десатурацию, экспорт из пластыди и биосинтез триацилглицерида в эндоплазматическом ретикулуме. Установлено, что ген *SiKASI* контролирует синтез пальмитиновой кислоты, *SiDGAT2* – синтез триацилглицерида (Wei et al., 2015).

Проведены исследования по изучению молекулярных основ стрессоустойчивости и выявлению некоторых потенциальных генов, придающих стрессоустойчивость генотипам кунжута (Wang et al., 2012b; Wang et al., 2016). Идентифицировано 45 генов *HD-Zip* в геноме кунжута, более 75% генов *SiHDZ* участвуют в передаче сигналов абиотического стресса. (Wei et al., 2019). Кунжут адаптирован к засухе и выращивается в засушливых и полусухих районах, характеризующихся высокими температурами. Однако повторяющиеся эпизоды засухи, особенно происходящие на репродуктивной стадии развития растения, значительно снижают продуктивность. В большинстве засушливых и полусухих районов урожайность семян кунжута, как правило, низкая (0,3–0,4 т/га) (Islam et al., 2016). Засуха влияет не только на компоненты урожая, но и на выход и качество масла.

Проведена полногеномная идентификация, обнаружено 30 генов семейства *Hsf* – *Heat stress transcription factor* (*HSFsi1*, *HSFsi2*, ... *HSFsi30*), которые отвечают за устойчивость кунжута к засухе (Dossa et al., 2016). С использованием 400 различных образцов кунжута, включая местные и современные сорта, проведено общегеномное ассоциативное исследование признаков, связанных с засухоустойчивостью (Dossa et al., 2019). Десять локусов количественных признаков (QTL) в четырех группах сцепления, контролируемых более 40% фенотипической изменчивости, были достоверно связаны с засухоустойчивостью. Выявлены гены засухоустойчивости, такие как *SiABI4*, *SiTTM3*, *SiGOLS1*, *SiNIMIN1* и *SiSAM*. Показано, что ген *SiSAM* модулирует уровень полиаминов, молекул, которые играют жизненно важную роль в регуляции роста растений, толерантности к абиотическому стрессу, засухоустойчивости.

Благодаря усилиям по сбору, изучению и сохранению генофонда кунжута огромный генетический материал культивируемого кунжута и диких родственных видов

в настоящее время сохраняется в нескольких генбанках по всему миру. Основные генетические банки семян кунжута находятся в Индии (NBPGR National Gene Bank), Южной Кореи (National Agrobiodiversity Center, Rural Development Administration), Китае (Oil Crops Research Institute) и Соединенных Штатах (USDA-ARS-PGRU) – в них сохраняется около 25 тысяч образцов (Dossa et al., 2017). Кроме того, существуют небольшие генбанки в странах Европы и в некоторых африканских странах, включая Нигерию, Эфиопию, Судан и др.

В коллекции ВИР насчитывается около 1,5 тысяч образцов кунжута, которые представлены различными экотипами, имеющими разное эколого-географическое происхождение. Образцы коллекции различаются по продолжительности вегетационного периода, продуктивности, окраске семян, жирнокислотному составу.

Сбор коллекции был начат в 1923 г. С 1926 по 1936 г. коллекция кунжута была пополнена благодаря экспедициям с личным участием Н. И. Вавилова. Это были образцы кунжута из Абиссинии (Эфиопия), Палестины, Сирии, Судана, Туниса, Западного Китая, с острова Кипр. В 1928 г. привезены образцы из Африки (Эритрея, Египет), Греции, Индии, Персии (Иран). Часть образцов собрана под руководством П. М. Жуковского. До 1941 г. коллекция кунжута пополнилась образцами из Афганистана, Кореи, Марокко, Палестины, Танганьики, Японии, с о. Мальты. В настоящее время коллекция представлена образцами более чем из 60 стран мира, в том числе из среднеазиатских республик бывшего СССР (Узбекистан, Таджикистан, Туркмения, Армения). В нее входят привезенные из экспедиций местные сорта, поступившие от селекционных фирм сорта и линии интенсивной селекции. Большой интерес представляют несколько коллекционных образцов с острова Родос, из Греции и Вьетнама с признаком неастрескиваемости коробочек.

Несмотря на свою важность, кунжут отстает от других основных масличных культур в отношении генетического улучшения, что требует объединить усилия науки и производства. Использование мировых генетических ресурсов будет способствовать возрождению селекционной работы и возделыванию культуры в России.

Обобщение данных выполнено в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0001 «Коллекция масличных и прядильных культур ВИР: поддержание, изучение, расширение генетического разнообразия».

Data synthesis was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0001 "The collection of oil and fiber crops at VIR: maintenance, study, and genetic diversity expansion".

References / Литература

- Afroz M., Neamul Kabir Zihad S.M.N., Uddin S.J., Rouf R., Rahman M.S., Islam M.T. et al. A systematic review on antioxidant and antiinflammatory activity of Sesame (*Sesamum indicum* L.) oil and further confirmation of antiinflammatory activity by chemical profiling and molecular docking *Phytotherapy Research*. 2019;33(10);2585-2608. DOI: 10.1002/ptr.6428
- Anilakumar K.R., Pal A., Khanum F., Bawa A.S. Nutritional, medicinal and industrial uses of sesame (*Sesamum*

- indicum* L.) seeds. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2010;75(4):159-168.
- Asfandiyarova M.Sh., Tuz R.K., Polyakova T.S. The perspective samples of sesame for breeding purposes in the arid conditions of the Astrakhan region. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2017;4(172):44-47. [in Russian] (Асфандиярова М.Ш., Туз Р.К., Полякова Т.С. Перспективные образцы кунжута для целей селекции в аридных условиях Астраханской области. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2017;4(172):44-47).
- Ashri A. Increased genetic variability for sesame improvement by hybridization and induced mutations. In: A. Ashri (ed.). *Sesame: Status and Improvement. FAO Plant Production and Protection Paper 29*. Rome: FAO; 1981. p.141-145.
- Ashri A. Sesame breeding. *Plant Breeding Reviews*. 1998;16:179-228. DOI: 10.1002/9780470650110.ch5
- Ashri A., Ladizinski G. Anatomical effects of the capsule dehiscence alleles in sesame. *Crop Science*. 1964;4:136-138.
- Baraka F., Berhe M. Evaluating performance of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in different growing seasons in Northern Ethiopia *International Journal of Agronomy*. 2019;2019(7):7804621. DOI: org/10.1155/2019/7804621
- Baydar H., Turgut I. Studies on genetics and breeding of sesame (*Sesamum indicum* L.) I. Inheritance of the characters determining the plant type. *Turkish Journal of Biology*. 2000;24(3):503-512.
- Bedigian D. A new combination for the Indian progenitor of sesame, *Sesamum indicum* (Pedaliaceae). *Novon: A Journal for Botanical Nomenclature*. 2014;23(1):5-13. DOI: 10.3417/2012062
- Bedigian D. Evolution of sesame revisited: domestication, diversity and prospects. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2003;50:779-787. DOI: 10.1023/A:1025029903549
- Bedigian D. History and lore of sesame in Southwest Asia. *Economic Botany*. 2004;58(3):329-353. DOI: 10.1663/0013-01(2004)058[0329:AR]2.0.CO;2
- Bedigian D. Systematics and evolution in *Sesamum* L. (Pedaliaceae), part 1: Evidence regarding the origin of sesame and its closest relatives. *Webbia: Journal of Plant Taxonomy and Geography*. 2015;70(1):1-42. DOI: 10.1080/00837792.2014.968457
- Bisht I.S., Mahajan R.K., Loknothan T.R., Agrawal R.C. Diversity in Indian sesame collection and stratification of germplasm accessions in different diversity groups. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 1998;45(4):325-335. DOI: 10.1023/A:1008652420477
- Cagirgan M.I. Selection and morphological characterization of induced determinate mutants in sesame. *Field Crops Research*. 2006;96(1):19-24. DOI: 10.1016/j.fcr.2005.06.010
- Choi Y.P., Paul N.C., Lee H.B., Yu S.H. First record of *Alternaria simsimi* causing leaf spot on sesame (*Sesamum indicum* L.) in Korea. *Mycobiology*. 2014;42(4):405-408. DOI: 10.5941/myco.2014.42.4.405
- Dossa K., Diouf D., Cissé N. Genome-wide investigation of *Hsf* genes in sesame reveals their segmental duplication expansion and their active role in drought stress response. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:1522. DOI: 10.3389/fpls.2016.01522
- Dossa K., Diouf D., Wang L., Wei X., Zhang Y., Niang M. et al. The emerging oilseed crop *Sesamum indicum* enters the "omics" era. *Frontiers in Plant Science*. 2017;8:1154. DOI: 10.3389/fpls.2017.01154
- Dossa K., Li D., Zhou R., Yu J., Wang L., Zhang Y. et al. The genetic basis of drought tolerance in the high oil crop *Sesamum indicum*. *Plant Biotechnology Journal*. 2019;17(9):1788-1803. DOI: 10.1111/pbi.13100
- Enikuomehin O.A., Peters O.T. Evaluation of crude extracts from some Nigerian plants for the control of field diseases of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Tropical Oilseeds Journal*. 2002;7:84-93.
- Ercan A.G., Taskin M., Turgut K. Analysis of genetic diversity in Turkish sesame (*Sesamum indicum* L.) populations using RAPD markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2004;51(6):599-607. DOI: 10.1023/B:GRES.0000024651.45623.f2
- Ermakov A.I., Davidyan G.G., Yarosh N.P., Rykova R.P., Anashchenko A.V., Lemeshev N.K., Megorskaya O.M. Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 337. Oil crops. Characters of oil quality according to fatty acids content. (Maslichnye kultury. Kharakteristika kachestva masla po sodержaniyu zhirnykh kislot). Leningrad: VIR; 1982. [in Russian] (Ермаков А.И., Давидян Г.Г., Ярош Н.П., Рыкова Р.П., Анащенко А.В., Лемешев Н.К., Мегорская О.М. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 337. Масличные культуры. Характеристика качества масла по содержанию жирных кислот. Ленинград: ВИР; 1982).
- FAOSTAT: Food and Agriculture Data. Rome: FAO; 2021. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#home> [accessed Feb. 11, 2021].
- Hiltebrandt V.M. Sesame (Kunzhut). Leningrad: VIR; 1931. [in Russian] (Гильтебрандт В.М. Кунжут. Ленинград: ВИР; 1931).
- Hiltebrandt V.M. Sesame, *Sesamum indicum* L. (Kunzhut, *Sesamum indicum* L.). Leningrad; 1941a. [in Russian] (Гильтебрандт В.М. Кунжут, *Sesamum indicum* L. Ленинград; 1941a).
- Hiltebrandt V.M. *Sesamum indicum* L. – Sesame (Kunzhut). In: In: E.V. Vulf (ed.). *Flora of Cultivated Plants of the USSR. Vol. 7. Oil crops (Kulturnaya flora SSSR. T. 7. Maslichnye)*. Moscow; Leningrad; 1941b. p.339-365. [in Russian] (Гильтебрандт В.М. *Sesamum indicum* L. – кунжут. В кн: *Культурная флора СССР. Т. 7. Масличные / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1941b. С.339-365*).
- Islam F., Gill R.A., Ali B., Farooq M.A., Xu L., Najeeb U., Zhou W. Sesame. In: S.K. Gupta (ed.). *Breeding Oilseed Crops for Sustainable Production: Opportunities and Constraints*. Cambridge, MA: Academic Press; 2016. p.135-147.
- Jayaraj P., Narasimhulu C.A., Rajagopalan S., Parthasarathy S., Desikan R. Sesamol: A powerful functional food ingredient from sesame oil for cardioprotection. *Food and Function*. 2020;11:1198-1210. DOI: 10.1039/c9fo01873e
- Kanu P.J. Biochemical analysis of black and white sesame seeds from China. *American Journal of Biochemistry and Molecular Biology*. 2011;1(2):145-157. DOI: 10.3923/ajbmb.2011.145.157
- Kartamyshev V.G. Genetics, breeding and seed production of oil crops. Selected works (1952–2007) (Genetika, selektsiya i semenovodstvo maslichnykh kultur. Izbrannyye trudy [1952–2007]). Rostov-on-Don; 2008. [in Russian] (Картамышев В.Г. Генетика, селекция и семеноводство масличных культур. Избранные труды (1952–2007). Ростов-на-Дону; 2008).
- Kim D.H., Zur G., Danin-Poleg Y., Lee S., Shim K., Kang C. et al. Genetic relationships of sesame germplasm collection as revealed by inter-simple sequence repeats. *Plant Breeding*. 2002;121(3):259-262. DOI: org/10.1046/j.1439-0523.2002.00700.x

- Kobayashi T. Cytogenetics of sesame (*Sesamum indicum* L.). In: T. Tsuchiya, P.K. Gupta (eds). *Chromosome Engineering in Plants: Genetics, Breeding, Evolution, Part B*. Amsterdam: Elsevier; 1991. p.581-592.
- Kobayashi T. Goma no kita michi (Sesame road). In: *Iwanamishoten*. Tokyo; 1986. p.153-155. [in Japanese]
- Langham D.G. Genetics of sesame: III. "Open sesame" and mottled leaf. *Journal of Heredity*. 1946;37(5):149-152. DOI: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a105603
- Laurentin H.E., Karlovsky P. AFLP fingerprinting of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars: identification, genetic relationship and comparison of AFLP informativeness parameters. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2007;54(7):1437-1446. DOI: 10.1007/s10722-006-9128-y
- Li C., Miao H., Wei L., Zhang T., Han X., Zhang H. Association mapping of seed oil and protein content in *Sesamum indicum* L. using SSR markers. *PLoS ONE*. 2014;9(8):e105757. DOI: 10.1371/journal.pone.0105757
- Nayar N.M., Mehra K.L. Sesame: Its uses, botany, cytogenetics, and origin. *Economic Botany*. 1970;24(1):20-31. DOI: 10.1007/BF02860629
- Nayeri F.D., Yarizade K. Bioinformatics study of delta-12 fatty acid desaturase 2 (FAD2) gene in oilseeds. *Molecular Biology Reports*. 2014;41(8):5077-5087. DOI: 10.1007/s11033-014-3373-5
- Nohara S. Genetical studies in *Sesamum indicum* L. *Journal of the College of Agriculture, Tokyo Imperial University*. 1933;12:227-386.
- Obydalo D.I., Ogarkova I.A. Kuban sesame is native to India (Kubanskiy kунжут – rodом iz Indii). In: *History of Scientific Reseach in VNIIMK for 90 years (Istoriya nauchnykh issledovaniy vo VNIIMK za 90 let)*. Krasnodar; 2002. p.95-100. [in Russian] (Обыдало Д.И., Огаркова И.А. Кубанский кунжут – родом из Индии. В кн.: *История научных исследований во ВНИИМК за 90 лет*. Краснодар; 2002. С.95-100).
- Ogasawara T., Chiba K., Tada M. *Sesamum indicum* L. (sesame): in vitro culture, and the production of naphthoquinone and other secondary metabolites. In: Y.P.S. Bajaj (ed.). *Medicinal and Aromatic Plants X. Biotechnology in Agriculture and Forestry. Vol. 41*. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag; 1998. p.366-393. DOI 10.1007/978-3-642-58833-4_19
- Pandey S.K., Das A., Rai P., Dasgupta T. Morphological and genetic diversity assessment of sesame (*Sesamum indicum* L.) accessions differing in origin. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2015;21(4):519-529. DOI: 10.1007/s12298-015-0322-2
- Singh P.K., Akram M., Vajpeyi M., Srivastava R.L., Kumar K., Naresh R. Screening and development of resistant sesame varieties against phytoplasma. *Bulletin of Insectology*. 2007;60(2):303-304.
- Tabatabaei I., Pazouki L., Bihanta M.R., Mansoori S., Javaran M.J., Niinemets Ü. Genetic variation among Iranian sesame (*Sesamum indicum* L.) accessions vis-à-vis exotic genotypes on the basis of morpho-physiological traits and RAPD markers. *Australian Journal of Crop Science*. 2011;5(11):1396-1407.
- Uzun B., Çağırğan M.İ. Identification of molecular markers linked to determinate growth habit in sesame. *Euphytica*. 2009;166(3):379-384. DOI: 10.1007/s10681-008-9818-y
- Uzun B., Lee D., Donini P., Çağırğan M.İ. Identification of a molecular marker linked to the closed capsule mutant trait in sesame using AFLP. *Plant Breeding*. 2003;122(1):95-97. DOI: 10.1046/j.1439-0523.2003.00787.x
- Vakhrusheva T.E. Sesame (Kunzhut). In: *Oil Crops for Food Purposes in Russia (Breeding Problems and Assortment) (Maslichnye kultury dlya pishchevogo ispolzovaniya v Rossii [problemy selektsii, sortiment])*. St. Petersburg: VIR; 1998. p.24-25. [in Russian] (Вахрушева Т.Е. Кунжут. В кн.: *Масличные культуры для пищевого использования в России (проблемы селекции, сортимент)*. Санкт-Петербург: ВИР; 1998. С.24-25).
- Vavilov N.I. General plant breeding (Obshchaya selektsiya rasteniy). In: *Theoretical Principles of Plant Breeding. Vol. 1 (Teoreticheskiye osnovy selektsii. T. 1)*. Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1935; 1935. p.1-14. [in Russian] (Вавилов Н.И. Общая селекция растений. В кн.: *Теоретические основы селекции растений. Т. 1*. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1935. С.1-14).
- Wan Y., Li H., Fu G., Chen X., Chen F., Xie M. The relationship of antioxidant components and antioxidant activity of sesame seed oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015;95(13):2571-2578. DOI: 10.1002/jsfa.7035
- Wang L., Li D., Zhang Y., Gao Y., Yu J., Wei X. et al. Tolerant and susceptible sesame genotypes reveal waterlogging stress response patterns. *PLoS ONE*. 2016;11(3):e0149912. DOI: 10.1371/journal.pone.0149912
- Wang L., Zhang Y., Qi X., Li D., Wei W., Zhang X. Global gene expression responses to waterlogging in roots of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*. 2012;34(6):2241-2249. DOI: 10.1007/s11738-012-1024-9
- Wei M., Liu A., Zhang Y., Zhou Y., Li D., Dossa K. et al. Genome-wide characterization and expression analysis of the HD-Zip gene family in response to drought and salinity stresses in sesame. *BMC Genomics*. 2019;20(1):748. DOI: 10.1186/s12864-019-6091-5
- Wei X., Liu K., Zhang Y., Feng Q., Wang L., Zhao Y. et al. Genetic discovery for oil production and quality in sesame. *Nature Communications*. 2015;6:8609. DOI: 10.1038/ncomms9609
- Wu M.S., Aquino L.B.B., Barbaza M.Y.U., Hsieh C.L., De Castro-Cruz K.A., Yang L.L. et al. Anti-inflammatory and anticancer properties of bioactive compounds from *Sesamum indicum* L. – A Review. *Molecules*. 2019;24(24):4426. DOI: 10.3390/molecules24244426
- Yarosh N.P., Ivanenko E.N. Fatty acids and oil content of sesame seeds of various ecological types. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1984;88:48-54. [in Russian] (Ярош Н.П., Иваненко Е.Н. Жирные кислоты и масличность семян кунжута различных экологических типов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1984;88:48-54).
- Yi D.K., Kim K.J. Complete chloroplast genome sequences of important oilseed crop *Sesamum indicum* L. *PLoS ONE*. 2012;7(5):e35872. DOI: 10.1371/journal.pone.0035872
- Yol E., Toker T., Golukcu M., Uzun B. Oil content and fatty acid characteristics in Mediterranean sesame core collection. *Crop Science*. 2015;55(5):2177-2185. DOI: 10.2135/cropsci2014.11.0771
- Yu J., Wang L., Guo H., Liao B., King G., Zhang X. Genome evolutionary dynamics followed by diversifying selection explains the complexity of the *Sesamum indicum* genome. *BMC Genomics*. 2017;18(1):257. DOI: 10.1186/s12864-017-3599-4
- Zajcev G.S. Varieties of *Sesamum indicum* L. cultivated in Turkestan. *Bulletin of Applied Botany and Plant-Breeding*. 1924;13(2):371-389. [in Russian] (Зайцев Г.С. Разновидности кунжута (*Sesamum indicum* L.), разводимого в Туркестане. *Труды по прикладной ботанике и селекции*. 1924;13(2):371-389).

- Zeven A.C., Zhukovsky P.M. Dictionary of cultivated plants and their centers of diversity. Excluding ornamentals, forest trees and lower plants. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation; 1975.
- Zhang H., Miao H., Li C., Wei L., Duan Y., Ma Q. et al. Ultra-dense SNP genetic map construction and identification of *SiDt* gene controlling the determinate growth habit in *Sesamum indicum* L. *Scientific Reports*. 2016;6:31556. DOI: 10.1038/srep31556
- Zhang H., Miao H., Wang L., Qu L., Liu H., Wang Q. et al. Genome sequencing of the important oilseed crop *Sesamum indicum* L. *Genome Biology*. 2013a;14(1):401. DOI: 10.1186/gb-2013-14-1-401
- Zhang H., Miao H., Wei L., Li C., Duan Y., Xu F. et al. Identification of a *SiCL1* gene controlling leaf curling and capsule indehiscence in sesame via cross-population association mapping and genomic variants screening. *BMC Plant Biology*. 2018;18(1):296. DOI: 10.1186/s12870-018-1503-2
- Zhang H., Miao H., Wei L., Li C., Zhao R., Wang C. Genetic analysis and QTL mapping of seed coat color in sesame (*Sesamum indicum* L.). *PLoS ONE*. 2013b;8(5):e63898. DOI: 10.1371/journal.pone.0063898
- Zhang P., Zhang H.Y., Guo W.Z., Zheng Y.Z., Wei L.B., Zhang T.Z. Genetic diversity analysis of *Sesamum indicum* L. germplasms using SRAP and EST-SSR markers. *Acta Agronomica Sinica*. 2007;33(10):1696-1702.

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Кишлян Н.В., Асфандиярова М.Ш., Якушева Т.В., Дубовская А.Г. Биологические особенности и возделывание кунжута (обзор). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):156-165. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-156-165

Kishlyan N.V., Asfandiyarova M.Sh., Yakusheva T.V., Dubovskaya A.G. Biological features and cultivation of sesame (a review). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):156-165. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-156-165

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-156-165>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID:

Kishlyan N.V. <https://orcid.org/0000-0003-4454-6948>
Yakusheva T.V. <https://orcid.org/0000-0002-2661-2377>
Asfandiyarova M.Sh. <https://orcid.org/0000-0002-3801-3734>
Dubovskaya A.G. <https://orcid.org/0000-0003-2487-5912>

Tatyana Yakovlevna Serebryakova: a forgotten hemp expert

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-166-171

УДК 633.522:58.007

Поступление/Received: 08.02.2021

Принято/Accepted: 07.10.2021



J. M. McPARTLAND

The University of Vermont,
Burlington, VT 05405, USA
✉ mcpruitt@myfairpoint.net

Татьяна Яковлевна Серебрякова:
забытый знаток конопли

ДЖ. М. МАК-ПАРТЛАНД

Университет Вермонта,
05405 США, штат Вермонт, г. Берлингтон
✉ mcpruitt@myfairpoint.net

Tatyana Yakovlevna Serebryakova (1893-?) conducted taxonomic research on *Cannabis sativa* L. for 20 years. She published important papers and a book on the subject. Next to every great man stands a great woman, and Serebryakova was Vavilov's hemp expert. Yet her biography has never been written, and many details are lost. We have reconstructed her history based on historical archives, her publications, and herbarium specimen labels. Highlights of her scientific contributions are presented.

Key words: *Cannabis sativa*, taxonomy, nomenclature.

Татьяна Яковлевна Серебрякова (1893-?) в течение 20 лет проводила таксономические исследования вида *Cannabis sativa* L. Она опубликовала важные статьи и книгу по этой теме. Рядом с каждым великим мужчиной находится место для великой женщины: так и Серебрякова стала для Николая Ивановича Вавилова источником знаний о конопле. Однако ее биография никогда не была написана, а многие детали уже утрачены. Мы реконструировали ее историю на основе исторических архивов, ее публикаций и этикеток с гербарных образцов. Представлены основные моменты ее научного вклада.

Ключевые слова: *Cannabis sativa*, таксономия, номенклатура.

Introduction

Research on *Cannabis sativa* by Tatyana Yakovlevna Serebryakova has been cited by many researchers in Russia, Western Europe, and the United States. Her specimens of *Cannabis sativa* L. can be found in such herbaria as WIR (held by the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, VIR) and LE (maintained by the Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences). Yet not even her name is known for certain.

Vavilov (1926) first gave her name as "Zinserling-Serebryakova". The name appearing on her first research publication is "Serebryakova (Zinserling)" (Fig. 1, A). A year later, Vavilov and Bukinich (1929) cited the work of "T. Ya. Serebryakova", and Serebryakova (1929) published a book on hemp. Serebryakova-Zarina (1933) wrote about Anatolian hemp (Fig. 1, B). The authorship on her final publication was

Serebryakova and Sizov (1940). A collection of Vavilov's correspondence identified her as "Serebryakova (Zarina) Tatyana Yakovlevna (1893 -?), an employee of VIPBiNK [*Editor's note*: the All-Russian Institute of Applied Botany and New Crops; from 1930, the All-Russian Institute of Plant Industry], a hemp expert" (Nikolai Ivanovich..., 1997, p. 571).

Biography

The Archives of St. Petersburg have information about Tatyana Yakovlevna and her family. She was born in August 1893, in Saratov, nationality Velikorus. Her father, Yakov Aleksandrovich Serebryakov, was a hereditary honorary citizen, then an employee. Yakov Aleksandrovich was the head of the city pawnshop of Saratov, and one of the most famous activists of the municipal lending movement. He was invited to St. Petersburg as the manager of the St. Petersburg city pawnshop. He served as director of the city pawnshop in St. Petersburg from 1902 to 1913 and was the author of several published works on the activities of urban pawnshops in Russia. He was married twice. From the first marriage, two children were born (only know about one child: daughter - Tatyana Yakovlevna). He died in 1913, when Tatyana Yakovlevna was 20 years old.

Her mother, Aleksandra Vasilyevna Ostroglazova (after her marriage, Aleksandra Vasilyevna Serebryakova), was the daughter of a merchant, a housewife, two children. The Serebryakovs left the city of Saratov in connection with the transfer of Yakov Aleksandrovich to a new place of service in St. Petersburg. The house in Saratov was sold in 1916.

Tatyana Yakovlevna attended the Women's Gymnasium of Emilia Pavlovna Schaffe in St. Petersburg, graduated with a medal (1913). Her languages included German, French, English, Italian. She studied at the Stebutov Higher Women's Agricultural Courses (St. Petersburg), but only three years out of four. She did not graduate for family reasons, the death of

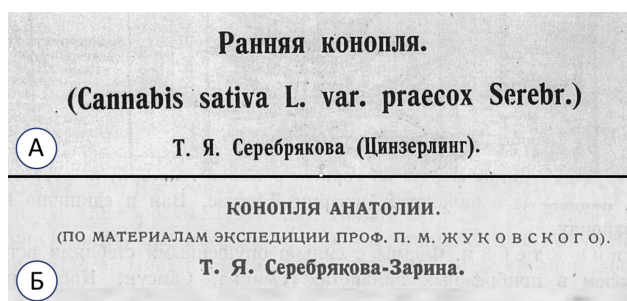


Fig. 1. Different names in the titles of publications:
A - Serebryakova (Zinserling) (1927/1928);
B - Serebryakova-Zarina (1933)

Рис. 1. Разные имена в заголовках публикаций:
А - Серебрякова (Цинзерлинг) (1927/1928);
Б - Серебрякова-Зарина (1933)

her father and a disastrous position. According to the statement of Serebryakova herself, she began to live on her own since 1915.

From 1915 to 1918 she worked in various institutions: the Stebutov Higher Women's Agricultural Courses, the Botanical Museum of the Imperial Academy of Sciences [*Editor's note*: from 1917, the Russian Academy of Sciences], the Department of Land Improvements. At the end of 1918 she entered the service as a senior technician of the Department of Animal Science in the Agricultural Scientific Committee. At the beginning of 1919 she held the post of a senior technician, then a laboratory assistant at the Department of Applied Botany [*Editor's note*: from 1924, the All-Russian Institute of Applied Botany and New Crops, VIPBiNK; after 1930, the All-Russian Institute of Plant Industry, VIR], then headed by R. E. Regel.

The Department of Land Improvements sent an expedition to Russian Turkestan in 1915–1916 to study the vegetation of the Chuy Valley. At the Vasilyevka site [*Editor's note*: the village of Vasilyevka is now in the Republic of Kyrgyzstan], botanists included Yu. D. Zinserling and T. Ya. Zinserling (Abolin, 1930; Nikitina, 1958). The Central Asian revolt ended the expedition *prematurely*. Nevertheless, herbarium specimens collected by Yu. D. and T. Ya. Zinserling can be found in the LE herbarium, and these collections are cited in various flora. "Yu. D. Zinserling" is most likely Yury Dmitrievich Zinserling (1894–1939). He was a botanist, studied at St. Petersburg University from 1912 to 1920. At the same time he worked in the herbarium of the Botanical Museum (https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Цинзерлинг,_Юрий_Дмитриевич). He would later publish a study on the flora of the Arctic northwest (Zinserling, 1925, 1934). [*Editor's note*: Beginning from 1924, Yury Dmitrievich was a research scientist of the Geobotany Department at the Botanical Institute; after 1934, the head of the Geobotany Department; after 1935, a consulting scientist at the Cola station of the USSR Academy of Sciences].

Tatyana Yakovlevna presumably took his name (a family name of German origin, so it had no Russian female ending). Zinserling (1925) studied the Arctic flora, while Serebryakova (Zinserling) (1927/1928) studied the Arctic hemp. The LE herbarium contains a specimen of *Cannabis sativa* marked "Zinserling and Serebryakova", collected near Lipovsky, Arkhangelsk Province. Not a single specimen in the VIR herbarium has the name "Yury Dmitrievich", and his name does not appear together with "Serebryakova (Zinserling) (1927/1928)". In the annals of St. Petersburg Central Archives of Scientific and Technical Documentation there is information (documents dated 1922) about Tatyana Yakovlevna Zinserling: she is an employee of the Agricultural Scientific Committee (SKhUK). From 1926 to 1936 she is listed in the staff records as "ZARINA, TATYANA YAKOVLEVNA". Since 1919, Tatyana Yakovlevna's labor activity has been associated with VIR.

Hemp research

Vavilov (1926) stated that Zinserling-Serebryakova worked in his Saratov laboratory. She grew experimental crops of wild and cultural hemp, and she studied the variety of forms. Perhaps she first noticed wild hemp in the Chuy Valley. Today, it is the Chuy Valley where the world's largest wild *Cannabis* population grows. Indigenous people say that it has always been there (Nikitin, 2014).

In 1921, after R. E. Regel's death, Nikolai Vavilov was appointed to lead the Department of Applied Botany in Petrograd [*Editor's note*: as St. Petersburg was renamed in 1914].

He departed Saratov University for Petrograd. At first, Serebryakova stayed in Saratov. A letter from Dmitry Erastovich Yanishevsky in Saratov, dated June 6, 1923, stated "There is little work on hemp with us, T. Ya. Zinserling is working, but I am not satisfied with her work" (Scientific legacy, 1980). It is worth noting that Yanishevsky and Vavilov competed for priority regarding the nomenclature of wild hemp, naming it *Cannabis ruderalis* and *Cannabis sativa* var. *spontanea*, respectively.

Soon Serebryakova left Saratov. Herbarium labels from 1925 indicate that she grew *Cannabis* germplasm collected by Vavilov and others at Pushkin (Detskoye Selo) Experiment Station near Leningrad [*Editor's note*: as Petrograd was renamed in 1924] and the Steppe Experiment Station in Voronezh Province (Kamennaya Steppe), founded by the Bureau of Applied Botany. She also processed *Cannabis* specimens grown by her colleagues in Kharkiv (Ukraine), Maikop (Krasnodar Territory) and Shatilovo Experiment Station (Orel Province).

Colleagues who sent *Cannabis* specimens included E. N. Sinskaya (from Altai and Semipalatinsk Province), Antropova (from Saratov), Chernyakovskaya (from Transcaspiian Province), Paskevich (from Azerbaijani), and P. M. Zhukovsky (from Turkey). Vavilov's *Cannabis* specimens came from many places: Saratov, Romania, Persia, Afghanistan, Turkestan, Italy, Morocco, even the USA. Herbarium labels indicate that Serebryakova herself collected *Cannabis* in Moscow, Arkhangelsk Province, Udmurtia, Komi Republic, Krasnodar Territory, Crimea. Some of these herbarium labels do not have her signature, but her handwriting is recognizable. Data in her publications (Serebryakova (Zinserling), 1927/1928, 1929 in the list of references; Serebryakova, Sizov, 1940) indicate that she examined *Cannabis* from many other places, but specimens did not survive.

Vavilov explored Afghanistan for five months in 1924. He collected germplasm from cultivated and wild-type *Cannabis*. Serebryakova evaluated the plants in a common field experiment. Vavilov and Bukinich (1929) published her results, including a table of morphological characters (plant height, length of leaves, number of leaflets per leaf, and 1000 seed weight). Photographs of the herbarium specimen of *C. indica* var. *kafiristanica* prepared by Serebryakova appear in several publications (Vavilov, Bukinich, 1929; Small, Cronquist, 1976; McPartland, Guy 2017; McPartland, Small, 2020). It may be the most frequently photographed *Cannabis* herbarium specimen (Fig. 2).

Based on her studies of *Cannabis* from around the world, Serebryakova (1929) published an 84-page monograph entitled "Konoplya" [*Editor's note*: Hemp]. As early as in the author's preface Serebryakova pointed out that cultivated hemp was present within *Cannabis sativa* L. as well as within *C. indica* Lam. As far as the former species is concerned, no varieties were reported, but for *C. indica* the varieties identified by Vavilov were mentioned: var. *culta* Vav. (cultivated), and the wild ones, var. *afganica* Vav. and var. *kafiristanica* Vav. The main focus of this work was the production qualities of hemp, its utilization, its processing features, cultivar-specific studies, breeding, and standardization of cultivars. Hemp processing practices were described, plus the damage inflicted on hemp by pests. A detailed discussion was dedicated to the distribution of this crop, supported by original maps of hemp cultivar acreage in the European part of Russia. Botanical descriptions were provided using the original drawings from life made, as a rule, by A. Naftulina. The following geographic types of cultivated hemp were identified on the basis of the studied plant characters: 1. Common hemp cultivated for



Fig. 2. Type specimen prepared by Serebryakova (VIR): *Cannabis indica* Lam. var. *kafiristanica* Vav.

Рис. 2. Типовой образец, подготовленный Серебряковой (ВИР): *Cannabis indica* Lam. var. *kafiristanica* Vav.

both fiber and seeds – A. European: type a: Early northern; type b: Central Russian, common; type c: Italian cultivars; B. East Asian: type a: Maritime; type b: Japanese; type c: American cultivars; type d: Chinese hemp cultivars; 2. Indian, or hashish hemp: type a: Indian hemp; type b: hems from Central Asian republics.

Serebryakova-Zarina (1933) evaluated 81 accessions of *Cannabis* from across Anatolia, collected by P. M. Zhukovsky. She classified them into six types, and mapped their geographic locations. Characters included stem height, stem width, stem branching, inflorescence height, seed size, seed weight, and a chemical measurement: percentage of oil in seeds.

In July 1936, Tatyana Yakovlevna was dismissed due to staff reduction. The era of Lysenko had just begun, with its persecutions targeted at geneticists and Vavilov himself. Four years remained until his arrest. Vavilov personally dismissed key staff that he wanted to protect, such as Evgenia Nikolaevna Sinskaya (1889–1965), another hemp researcher (Sinskaya, 1925). “Evgenia Nikolaevna almost burst into tears when she saw herself on the lists of those dismissed” (Filatenko, 2009). “Only a few months later, we realized that with this order N. I. had saved our lives,” added Evgenia Nikolaevna.

Tatyana Yakovlevna was not done working, and her best publication was yet to come: Serebryakova and Sizov (1940). The last few years must have been difficult. Vavilov was arrested (in August 1940). The Kamennaya Steppe Station was shut down. Her former husband, Yuri Dmitrievich, was ar-

rested in July 1938, and died in November 1939, presumably in a pretrial detention cell [Editor’s note: He was exonerated in 1957]. Her co-author Ivan A. Sizov (1900–1968) “began energetically to liquidate the remnants of Vavilov traditions” (Medvedev, 1969). No articles by Vavilov were cited. In Serebryakova and Sizov (1940) Vavilov disappeared from the taxonomy of *Cannabis*: the taxon *C. sativa* var. *spontanea* Vav. was raised to the rank of subspecies, without naming the basionym by Vavilov. Vavilov’s taxa for Afghan plants were omitted – *C. indica* f. *afghanica* and *C. indica* var. *kafiristanica* (Fig. 3)¹.

The publication by Serebryakova and Sizov (1940) for *Cultivated Flora* is excellent, and profusely illustrated. For example, the illustration of wild-type versus domesticated fruit phenotypes, in plants from Afghanistan and Southeast Europe (see Fig. 3). Serebryakova collaborated with the artist M. P. Lobanova.

Serebryakova emended the description of *C. sativa* L., and provided an excellent synonymy, having analyzed the history of species and cultivar studies by the end of the 1930s. The species was divided into subspecies *culta* Serebr. (domesticated) and subspecies *spontanea* Serebr. (wild-type). She reported the distribution of wild-type plants recorded by V. S. Semenov, B. A. Keller, A. A. Khrebtov, E. N. Sinskaya, O. E. Kiorring, Z. A. Minkvits, V. L. Komarov, K. I. Maksimovich, D. I. Litvinov, V. E. Pisarev. We see microscopic comparisons of pollen from Middle Russian hemp versus Italian hemp, and histological sections of stalks. A detailed scheme of variability is presented for the main plant characters. Leaf variation is illustrated. Data are provided concerning cytology, genetics, anatomical and chemical analysis of stalks. The most important cultivars and their features are discussed. She summarized the breeding research by N. N. Grishko, L. H. Dewey, and O. Bredemann.

Serebryakova created a *Cannabis* taxonomy unsurpassed in complexity, which was built on Vavilov’s classification system. The authors themselves stated that the taxonomy was based “...on a set of morphological and biological characters, most of which have environmental and geographic natures” (Serebryakova, Sizov, 1940, p. 7). Geographic distribution is shown for representatives of the genus. A key was developed to identify spp. *C. sativa* (L.) Serebr. (emend.) and *C. indica* (Lam.) Serebr. (emend.), and another key for subsp. *culta* and subsp. *spontanea*. In her publication of 1940, Serebryakova divided *C. sativa* subsp. *culta* into four groups: three groups of fiber-type plants (North European, prol. *borealis*; Central European, prol. *medioruthenica*; and Southern hemp, prol. *australis*), and three types of drug-type plants (var. *narcotica* Serebr., var. *narcotica* f. *flavo-viridis* Serebr., var. *sub-narcotica* Serebr.). She classified *C. sativa* subsp. *spontanea* into four varieties, or forms. Each of the three groups of fiber-type plants was divided into three to seven varieties. All in all, she identified 15 varieties and five forms within *C. sativa*.

All the varieties are described morphologically, and with geographic distributions. The weakness of her system is the brief treatment of *Cannabis indica*. Compared to the complexity of *C. sativa*, Serebryakova recognized only one unique form, *C. indica* f. *monstrosita* Serebr. In comparison, de Can-

¹ Note: The figure legend is taken from the original publication by Vavilov and Bukinich *Agricultural Afghanistan* (1929, p. 380), which was not cited (typographical errors corrected). Left to right: 1. From Northern Afghanistan – cultivated (*Cannabis sativa* L.) is grown for the sake of “anasha”; 2. Common Russian Orlov hemp; 3. Wild hemp of Saratov Province – *Cannabis sativa* var. *spontanea* Vav. (= *Cannabis ruderalis* Janishew.); 4. *Cannabis indica* var. *kafiristanica* Vav.; 5. *Cannabis indica* f. *afghanica* Vav. The upper row enlarged 6 times, the lower row showing the bases of achenes enlarged 10 times.

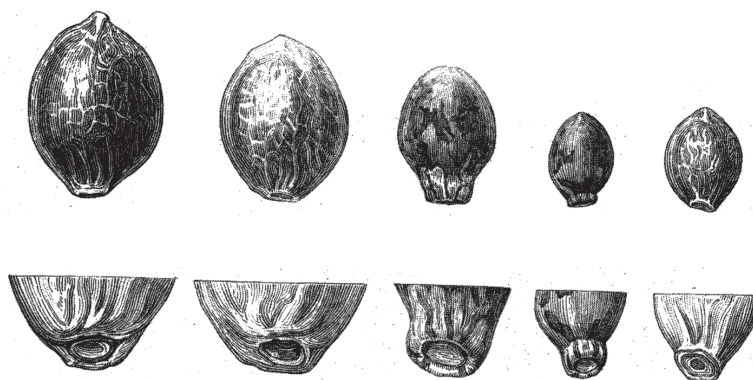


Fig. 3. The original legend to the figure with hemp achenes in *Cultivated Flora*:

“Fig. 8. Seeds of different geographic races of hemp: 1 – Afghanistan, large-sized; 2 – Orel Province; 3 – Northern Caucasus, wild; 4 – Kafiristan, wild; 5 – Afghanistan, cultivated; enlarged: upper row – 6 times, lower row – 10 times (Orig.)”
(Serebryakova, Sizov, 1940, p. 13)

Рис. 3. Оригинальная подпись к рисунку плодов конопли в «Культурной флоре»: «Рис. 8. Семена различных географических рас конопли: 1 – Афганистан, крупная; 2 – Орловская область; 3 – Северный Кавказ, дикая; 4 – Кафиристан, дикая; 5 – Афганистан, культурная; увеличено: верх – в 6 раз, низ – в 10 раз (Ориг.)»
(Serebryakova, Sizov, 1940, p. 13)

dolle (1869) recognized two subvarietal forms, and Dewey (1914) recognized four. Serebryakova recognized the mentioned wild-type plants (“in Kafiristan”), but did not assign taxonomic names to them.

Serebryakova’s taxonomic scheme was adopted by others (Scholz, 1957; Clarke, 1987), sometimes without citing her (Schultes et al., 1974; Bòcsa, Karus, 1998). Small and Cronquist (1975) called Serebryakova’s taxonomic system a “quasi-formal treatment that appeared to provide a useful, if artificial, guide to cultivars”. De Meijer (1995) updated Serebryakova’s system.

Then Tatyana Yakovlevna disappeared from the historical record. She may have died during the Leningrad siege (September 1941 – January 1944). We do not even have a photograph of her. We hope this brief article brings her work to a wider audience.

For researching St. Petersburg archives and making great improvements in this article, the author thanks Elena Sokolova, scientific editor, and Anton Krylov, editor/translator.

За проведенные изыскания в архивах Санкт-Петербурга и внесенные исправления, серьезно улучшившие статью, автор благодарит научного редактора Елену Соколову и редактора-переводчика Антона Крылова.

References / Литература

- Abolin R.I. From the desert steppes of the Balkhash region to the snowy peaks of Khantengri: Geobotanical and edaphic description of the southern part of Almaty District, Kazak Autonomous SSR. Part 1 (От пустынных степей Прибалхашья до снежных вершин Хантенгри: Геоботаническое и почвенное описание южной части Алматинского округа Казахской АССР. Част 1). *Transactions of the Soil and Geobotanical Institute of Middle Asiatic State University. Kazakstania Series.* 1930;(5):1-182. [in Russian] (Аболин Р.И. От пустынных степей Прибалхашья до снежных вершин Хантенгри: Геоботаническое и почвенное описание южной части Алматинского округа Казахской АССР. Часть 1. *Труды Института почвоведения и геоботаники Средне-Азиатского государственного университета. Казакстанская серия.* 1930;(5):1-182. Available from: <https://ru.djvu.online/file/q3TyP34LY-ElZw> [accessed May 20, 2021].
- Bòcsa I., Karus M. The cultivation of hemp: botany, varieties, cultivation and harvesting. Sebastopol, CA: Hemptech; 1998.
- Clarke R.C. *Cannabis* evolution [dissertation]. Bloomington, IN: Indiana University; 1987.
- de Candolle A. *Prodromus systematis naturalis regni vegetabilis. Pars XVI. Sectio prior. Sistens Urticaceas, Piperaceas, etc.* Paris: Victoris Masson et Filii; 1869. Available from: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/260177#page/3/mode/1up> [accessed May 12, 2021].
- de Meijer E.P.M. Fibre hemp cultivars: A survey of origin, ancestry, availability and brief agronomic characteristics. *Journal of the International Hemp Association.* 1995;2(2):66-73.
- Dewey L.H. Hemp. In: *U.S.D.A. Yearbook 1913.* Washington DC: United States Department of Agriculture; 1914. p.283-347.
- Filatenko A.A. In memory of Eugenia Nicholaevna Sinskaya. In: *Genetic resources of cultivated plants. Problems of crop evolution and systematics: publications (St. Petersburg, 9–11 December 2009).* St. Petersburg: VIR; 2009. p.6-19. [in Russian] (Филатенко А.А. Светлой памяти Синской Евгении Николаевны. В кн.: *Генетические ресурсы культурных растений. Проблемы эволюции и систематики культурных растений: материалы конференции (Санкт-Петербург, 09–11 декабря 2009 г.)*. Санкт-Петербург: ВИР; 2009. С.6-19).
- McPartland J.M., Guy G.W. Models of *Cannabis* taxonomy, cultural bias, and conflicts between scientific and vernacular names. *The Botanical Review.* 2017;83(4):327-381. DOI: 10.1007/s12229-017-9187-0
- McPartland J.M., Small E. A classification of endangered high-THC cannabis (*Cannabis sativa* subsp. *indica*) domesticates and their wild relatives. *PhytoKeys.* 2020;144:81-112. DOI: 10.3897/phytokeys.144.46700
- Medvedev Zh.A. The rise and fall of T. D. Lysenko. New York, NY: Columbia University Press; 1969.
- Nikitin E.Y. Legalization of marijuana: what it will give us, and how to do it? (Chto dast nam legalizatsiya

- marikhuany i kak eto sdelat?). Zakon.kz; 2014. [in Russian] (Никитин Е.Ю. Что даст нам легализация марихуаны и как это сделать? Zakon.kz; 2014. Available from: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31537002 [accessed Apr. 5, 2021].
- Nikitina E.V. Materials on the flora of the Chuy valley (within Kirghizia) (Materialy po flore Chuyskoy doliny [v predelekh Kirgizii]). *Trudy Instituta botaniki Akademii nauk Kirgizskoy SSR = Proceedings of the Institute of Botany, Academy of Sciences of the Kirghiz SSR*. 1958;(3):3-72. [in Russian] (Никитина Е.В. Материалы по флоре Чуйской долины (в пределах Киргизии). *Труды Института ботаники Академии наук Киргизской ССР*. 1958;(3):3-72).
- Nikolai Ivanovich Vavilov: Scientific heritage in letters: International correspondence. Vol. II. 1927–1930 (Nikolai Ivanovich Vavilov: Nauchnoye nasledie v pismakh: Mezhdunarodnaya perepiska. Vol. II. 1927–1930). Moscow: Nauka; 1997. [in Russian] (Николай Иванович Вавилов: Научное наследие в письмах: Международная переписка. Т. II. 1927–1930. Москва: Наука; 1997).
- Scholz H. Der wilde Hanf als Ruderpflanze Mitteleuropas. *Verhandlungen des Botanischen Vereins für die Provinz Brandenburg*. 1957;83(97):61-64. [in German]
- Schultes R.E., Klein W.M., Plowman T., Lockwood T.E. *Cannabis: An example of taxonomic neglect. Harvard University Botanical Museum Leaflets*. 1974;23:337-367.
- Scientific Legacy. Vol. 5. Nikolai Ivanovich Vavilov. From the epistolary heritage. 1911–1928 (Nauchnoye nasledstvo. T. 5. Nikolai Ivanovich Vavilov. Iz epistol'yarnogo naslediya. 1911–1928 gg.). Moscow: Nauka; 1980. [in Russian] (Научное наследство. Т. 5. Николай Иванович Вавилов. Из эпистолярного наследия. 1911–1928 гг. Москва: Наука; 1987).
- Serebrjakova (Zinserling) T.J. Early hemp (*Cannabis sativa* L. var. *praecox* Serebr.). *Bulletin of Applied Botany, of Genetics and Plant-Breeding*. 1928;18(1):407-412. [in Russian] (Серебрякова (Цинзерлинг) Т.Я. Ранняя конопля (*Cannabis sativa* L. var. *praecox* Serebr.). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1928;18(1):407-412).
- Serebryakova T.Ya. Hemp (Konoplya). Leningrad: All-Union Institute of Applied Botany and New Crops; 1929. [in Russian] (Серебрякова Т.Я. Конопля. Ленинград: Всесоюзный институт прикладной ботаники и новых культур; 1929).
- Serebryakova-Zarina T.Ya. Hemp of Anatolia (based on the materials of the expedition of Prof. P. M. Zhukovsky) (Konoplya Anatolii [po materialam ekspeditsii prof. P. M. Zhukovskogo]). In: P.M. Zhukovsky (ed.). *Agricultural Turkey (Zemledelcheskaya Turtsiya)*. Leningrad: All-Union Institute of Applied Botany and New Crops; 1933. p.511-515. [in Russian] (Серебрякова-Зарина Т.Я. Конопля Анатолии (по материалам экспедиции проф. П. М. Жуковского). В кн.: *Земледельческая Турция / под ред. П.М. Жуковского*. Ленинград: Всесоюзный институт прикладной ботаники и новых культур; 1933. С.511-515).
- Serebryakova T.Ya., Sizov I.A. Fiber plants of fam. Cannabinaceae Lindl. – Hemp-like plants (Pryadilnye sem. Cannabinaceae Lindl. – Konoplyanye). In: *Cultivated Flora of the USSR. Vol. 5. Fiber crops. Part 1 (Kulturnaya flora SSSR. T. 5. Pryadilnye. Chast 1)*. Moscow; Leningrad: State Publishing House of State-Farm and Collective-Farm Literature; 1940. p.1-53. [in Russian] (Серебрякова Т.Я., Сизов И.А. Прядильные сем. Cannabinaceae Lindl. – Конопляные. В кн.: *Культурная Флора СССР. Т. 5. Прядильные. Часть 1*. Москва; Ленинград: Государственное издательство совхозной и колхозной литературы; 1940. С.1-53).
- Sinskaya E. Field crops of the Altai. *Bulletin of Applied Botany and Plant-Breeding*. 1925;14(1):359-376. [in Russian] (Синская Е.Н. О полевых культурах Алтая. *Труды по прикладной ботанике и селекции*. 1925;14(1):359-376).
- Small E., Cronquist A. A practical and natural taxonomy for *Cannabis*. *Taxon*. 1976;25(4):405-435. DOI: 10.2307/1220524
- Vavilov N.I. The origin of cultivated hemp and the emergence of the group of “primary” plants (Proiskhozhdeniye kulturnoy konopli i vznikoveniye kultury gruppy “pervichnykh” rasteniy). *Bulletin of Applied Botany and Plant-Breeding*. 1926;16(2):107-121. [in Russian] (Вавилов Н.И. Происхождение культурной конопли и возникновение культуры группы «первичных» растений. *Труды по прикладной ботанике и селекции* 1926;16(2):107-121).
- Vavilov N.I., Bukinich D.D. Hemp (Konoplya). In: Vavilov N.I., Bukinich D.D. *Agricultural Afghanistan (with 318 photographs, tables and 6 maps of Afghanistan (Composed on the basis of the data and materials of the Expedition of the Institute of Applied Botany to Afghanistan)*. *Bulletin of Applied Botany, of Genetics and Plant Breeding*. 1929;Suppl 33:380-382. [in Russian] (Вавилов Н.И., Букиннич Д.Д. Конопля. В кн.: Вавилов Н.И., Букиннич Д.Д. *Земледельческий Афганистан (с 318 фотографиями, таблицами и 6 картами)*: Составлен по материалам экспедиции Государственного Института Опытной Агрономии и Всесоюзного Института Прикладной Ботаники в Афганистан. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1929; Приложение 33: С.380-382).
- Zinserling Yu. Plants of the sea coasts on the shores of lakes in the Northwest of the USSR (Rasteniya morskikh poberezhny na beregakh ozer Severo-Zapada SSSR). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1925;(3-4):355-374. [in Russian] (Цинзерлинг Ю.Д. Растения морских побережий на берегах озер Северо-Запада СССР. *Ботанический журнал*. 1925(3-4):355-374).
- Zinserling Yu.D. Geography of the vegetation in the northwest of the European part of the USSR (Geografiya rastitelnogo pokrova severo-zapada Yevropeyskoy chasti SSSR). Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1934. [in Russian] (Цинзерлинг Ю.Д. География растительного покрова северо-запада Европейской части СССР. Ленинград: АН СССР; 1934).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The author declares the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Мак-Партланд Дж.М. Татьяна Яковлевна Серебрякова: забытый знаток конопли. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):166-171. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-166-171

McPartland J.M. Tatyana Yakovlevna Serebryakova: a forgotten hemp expert. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(3):166-171. DOI:10.30901/2227-8834-2021-4-166-171

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-166-171>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Автор одобрил рукопись / The author approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

John McPartland <https://orcid.org/0000-0003-3385-2827>

Научное издание:

**ТРУДЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ,
ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ, ТОМ 182, ВЫПУСК 4**

Научный редактор: *Е. А. Соколова*

Корректор: *А. Г. Крылов*

Компьютерная верстка: *А. В. Иванов*

Подписано в печать 14.12.2021. Формат бумаги 70×100^{1/8}

Бумага офсетная. Печать офсетная

Печ. л. 21,5. Тираж 300 экз. Зак. 2209

Сектор редакционно-издательской деятельности ВИР
190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 42, 44

ООО «Р – Принт»

Санкт-Петербург, пер. Гривцова, 6Б

