Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55
УДК 633.16:631.527:631.526.32(527.1)
Поступление/Received: 20.03.2020
Принято/Accepted: 23.12.2020

CC BY

Stress resistance in barley cultivars of various agroecological origin under extreme continental climate conditions

О. А. ЮСОВА[1]*, П. Н. НИКОЛАЕВ[1], Я. Б. БЕНДИНА[1], И. В. САФОНОВА[2], Н. И. АНИСЬКОВ[2]

[1] Омский Аграрный научный центр,
644012 Россия, г. Омск, пр. Королева, 26
ksanajusva@rambler.ru; nikolaevpetr@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
** i.safonova@vir.nw.ru*

O. A. YUSOVA[1]*, P. N. NIKOLAEV[1], YA. B. BENDINA[1], I. V. SAFONOVA[2], N. I. ANISKOV[2]

[1] Omsk Agrarian Scientific Center,
26 Koroleva Ave., Omsk 644012, Russia
ksanajusva@rambler.ru; nikolaevpetr@mail.ru

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

Актуальность. Коллекция ячменя Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), являясь основным источником селекционного материала, в условиях резко континентального климата изучена недостаточно. Цель исследований – оценка адаптивности сортов ячменя коллекции ВИР для условий резко континентального климата. **Материал и методы.** Объектами исследований являлись 24 сорта ячменя коллекции ВИР различных центров селекции и регионов допуска РФ. В качестве стандарта использован сорт селекции Омского АНЦ 'Омский 91'. **Результаты и обсуждение.** Согласно генетическим паспортам по аллелям гордеин-кодирующих локусов у сортов ячменя, предоставленным Институтом общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, более 70% изученных сортов ('Челябинский 99', 'Приазовский 9', 'Задел', 'Сокол', 'Зерноградский 584', 'Задонский 8', 'Хаджибей', 'Беатрис', 'Княжич', 'Зевс' и 'Казак') являлись линейными по гордеин-кодирующим локусам. Рассчитаны гомеостатичность сортов, индекс стабильности и пластичность сорта. Определены меры интенсивности и селекционный дифференциал. **Заключение.** Согласно оценке адаптивности по сумме рангов (рассчитанной по перечисленным выше параметрам адаптивности), наиболее приспособлены для резко континентальных условий мономорфные сорта 'Приазовский 9' и 'Челябинский 99', а также не включенный в Государственный реестр селекционных достижений РФ сорт 'Северянин' (сумма рангов составила от 8 до 29). Адаптивность выделенных сортов подтверждена получением урожайных гибридных популяций выделенного адаптивного сорта 'Челябинский 99' с сортами селекции Омского АНЦ – 'Омский 91' и 'Омский 95'. Полученные линии имели прибавку как по отношению к средней урожайности родительских сортов (+1,20 т/га), так и к урожайности лучшего родительского сорта (+0,76 т/га).

Ключевые слова: яровой ячмень; урожайность; гомеостатичность; пластичность; адаптивность; ранг.

Background. The barley collection at the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), being the main source of source material for breeding, is insufficiently studied under conditions of extreme continental climate. The purpose of the research was to assess the adaptability of barley cultivars held by VIR to extreme continentality. **Material and methods**. The research targets were 24 barley cultivars representing various breeding centers and tolerance regions of Russia. The cultivar 'Omsky 91' developed at Omsk Agrarian Scientific Center was used as the reference. **Results and discussion**. According to the genetic profiles for alleles of hordein-coding loci, provided by the Vavilov Institute of General Genetics, more than 70% of the studied barley cultivars ('Chelyabinsky 99', 'Priazovsky 9', 'Zadel', 'Sokol', 'Zernogradsky 584', 'Zadonsky 8', 'Khadzhibey', 'Beatrice', 'Knyazhich', 'Zevs', 'Kazak') were linear in their hordein-coding loci. The homeostasis of the cultivars, their stability indices and plasticity levels were calculated. Their intensity measures and selection differentials were determined. **Conclusion**. The adaptability assessment based on the sum of ranks (calculated using the abovementioned adaptability parameters) showed that the monomorphic cultivars 'Priazovsky 9' and 'Chelyabinsky 99' as well as cv. 'Severyanin' (not listed in the State Register for Selection Achievements) were most adapted to extreme continental climate conditions (sums of ranks ranged from 8 to 29). The adaptability of the identified cultivars was confirmed by high-yielding hybrid populations produced from crossing the selected adaptable cv. 'Chelyabinsky 99' with cvs. 'Omsky 91' and 'Omsky 95' released by Omsk Agrarian Scientific Center. The obtained lines demonstrated higher yields than both the mean yield of the parent cultivars (+1.20 t/ha) and the yield of the best parent cultivar (+0.76 t/ha).

Key words: spring barley, yield, homeostasis, plasticity, adaptability, rank.

Введение

Одним из актуальнейших предметов обсуждения современности считается проблема наблюдаемых и предстоящих изменений климата как в общемировом плане (Labudová et al., 2015; Herger et al., 2018), так и применительно к агрономии (Lipka, 2017). Климатические метаморфозы в течение прошлого десятилетия привели к изменениям фитоценозов, что проявилось в отрицательном эффекте производительности зерновых культур (Chayka et al., 2013). В связи с глобальными климатическими изменениями особую актуальность приобретает проблема создания и использования в сельскохозяйственном производстве сортов с повышенными приспособительными качествами (Surin et al., 2015), что является ключевым фактором для стабильного увеличения как урожайности, так и качества сельскохозяйственной продукции.

Яровой ячмень – ключевая зернофуражная и кормовая культура (Polonskiy et al., 2018), которая формирует повышенную урожайность (по сравнению с иными зернофуражными культурами) за счет скороспелости и засухоустойчивости (Rapacz et al., 2012).

С учетом климатических факторов и запросов производства в настоящее время актуальна селекция на повышенную продуктивность и адаптивность к местным природно-климатическим факторам (Potanin et al., 2014), экологическую пластичность (Murugova, 2016), устойчивость к биотическим и абиотическим стрессорам (Robinson et al., 2007; Sarkar et al., 2014). Для создания новых сортов ячменя, обладающих перечисленными факторами, требуется перспективный исходный материал, обладающий повышенными адаптивными качествами. Для обеспечения программ селекции по созданию новых конкурентоспособных сортов широкое применение находят коллекционные образцы (Prikaziuk, 2013; Nevo, 2015). Коллекция ячменя Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) является основным источником селекционного материала и располагает новинками генофонда (Klykov et al., 2014).

Интенсивность процессов изменений климата диктует необходимость исследований сортов различных климатических зон на предмет их адаптивности к иным агроэкологическим условиям.

В связи с этим *цель исследования* – оценка адаптивности сортов ячменя коллекции ВИР для условий резко континентального климата.

Материалы и методы

Объектом исследований являлись 24 сорта ячменя различных центров селекции из коллекции ВИР: стандартный сорт ‘Омский 91’ (ФГБНУ «Омский АНЦ»); сорта ‘Задел’ и ‘Ворсинский’ (ФГБНУ ФАНЦА); ‘Золотник’ (ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр ИЦиГ Сибирского отделения РАН»); ‘Сокол’, ‘Зерноградский 584’, ‘Задонский 8’ (ФГБНУ ФРАНЦ); ‘Приазовский 9’ (ФГБНУ АНЦ «ДОНСКОЙ»); ‘Одон’, ‘Наран’ (ФГБНУ Бурятский НИИСХ); ‘Хаджибей’ (ФГБНУ «Белгородский федеральный АНЦ РАН»); ‘Зевс’, ‘Княжич’ (ОАО НПФ «Белселект»); ‘Илек’ (Восточно-Казахстанский научно-исследовательский институт сельского хозяйства); ‘Двина’, ‘Северянин’ (ФГБНУ Архангельский НИИСХ), ‘Беатрис’, ‘Деспина’ (SAATEN-UNION GMBH, Германия); ‘Челябинский 99’ (ФГБНУ «Челябинский НИИСХ»); ‘Витязь’ (ФГБНУ «Самарский НИИСХ им. Н.М. Тулайкова»); ‘Волгарь’, ‘Поволжский 65’, ‘Казак’ (ФГБНУ «Поволжский НИИ селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова»); ‘Безенчукский 3’ (ФГБНУ «Самарский НИИСХ»; ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко»; ФГБНУ «Пензенский НИИСХ»).

Генетические паспорта по аллелям гордеин-кодирующих локусов у сортов ячменя, используемых в Российской Федерации, представлены на официальном сайте ФГБУН «Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова» Российской академии наук (Genetic profiles…, 2020) и получены по методике данного института (Laboratory varietal…, 2020).

Рассчитаны следующие параметры адаптивности сортов: гомеостатичность (Hom), индекс стабильности (ИС) сортов (Hangildin, Asfondiyarova, 1977), пластичность (Wi) (Wricke, 1962).

Для определения меры интенсивности отбора (*i*) гибридных популяций, независимой от величины изменчивости урожайности, селекционный дифференциал (S) выражали в единицах среднего квадратического отклонения признака (σ_p). Селекционный дифференциал (S) рассчитывался как разница между средней величиной урожайности в отобранных популяциях и соответствующей его величиной в исходной популяции (Shamanin, Trushchenko, 2006). Среднее квадратическое отклонение признака (σp) получили по способу вычисления статистических параметров для несгруппированных данных (Zielke, 2012).

Изменчивость исследуемых признаков определяли по коэффициенту вариации (CV). При CV <10% изменчивость признака незначительна; 10% <CV <20% – средняя; CV ≥ 20% – значительная. Проведен дисперсионный анализ (Dospekhov, 2011), где DP – число степеней свободы; MS – средний квадрат; SS – сумма квадратов; S^2 – дисперсия. Статистическая обработка полученных данных выполнена в программе StarSoft STATISTICA for Windows 6.0.

Климатические условия в годы проведения исследований характеризовались как контрастные и довольно полно отражали особенности резко континентального климата. По данным Гидрометеорологического центра (ГМОС), достаточным увлажнением отличался период вегетации 2013 г.: сумма осадков превышала среднемноголетние данные в мае, июле и августе в 2-3 раза на фоне недостатка тепла (на 0,3–1,2°C ниже нормы) в течение всего периода вегетации. В 2014 г. наблюдалось неравномерное распределение тепла: жаркая погода мая и июня сменилась холодным июлем с недобором суммы температур на 3,0°C и превышением ее в августе на 1,2°C. В июне наблюдался недобор осадков (–16,7% к среднемноголетним данным), а в июле и августе – дожди ливневого характера (132,9–122,3% к норме). В период вегетации 2015 г. жаркие май и июнь (на 2,8 и 2,5°C выше нормы) сменились недобором суммы температур в июле и августе (на 1,2 и 2,4°C ниже нормы).

Результаты исследований и обсуждение

Для оценки адаптивности сортов ячменя коллекции ВИР в исследованиях принимали участие сорта, относящиеся к различным регионам допуска согласно Государственному реестру селекционных достижений РФ. К зоне резко континентального климата (10 и 7 регионы) относятся сорта ‘Омский 91’ (стандарт), ‘Задел’ (к-17981), ‘Золотник’ (к-17650), ‘Ворсинский 2’ (к-17914),

‘Волгарь’ (к-16641), ‘Казак’ (к-17982) и ‘Поволжский 65’ (к-17115). Также в исследование включены сорта, адаптивные как к зоне резко континентального климата, так и к другим зонам: ‘Челябинский 99’ (к-30777; 9, 10 регионы) – зона типичного горного климата; ‘Приазовский 9’ (к-17400; 3, 5, 6, 7, 10, 12 регионы) – умеренно континентальный, а также переходная зона от резко континентального к муссонному типу; ‘Зерноградский 584’ (к-17389; 6, 8, 9 регионы) соответствует зонам как умеренно континентального климата, так и типично горного; ‘Зевс’ (к-17648; 2, 3, 4, 5, 10 регионы) переходный от морского до умеренно континентального. Условиям континентального климата соответствуют сорта ‘Наран’ (к-17697) и ‘Одон’ (к-17923; 11 зона), умеренно континентального – ‘Сокол’ (к-17632), ‘Задонский 8’ (к-17257), ‘Хаджибей’ (к-17649), ‘Княжич’ (к-17112), ‘Беатрис’ (к-31175; 3, 5, 6 зоны). Исследуемые сорта ‘Илек’ (к-17785), ‘Безенчукский 3’ (к-17777) ‘Витязь’ (к-11924), ‘Северянин’ (к-17779), ‘Деспина’ (к-17937) и ‘Илек’ не включены в Государственный реестр селекционных достижений РФ.

Одним из методов идентификации сортов является анализ запасных белков при электрофоретических исследованиях (Zhou, Steffenson, 2013; Zobova et al., 2014). Данный метод широко применим в агроэкологической оценке коллекционного материала ячменя (Zobova et al., 2018). Основная масса видов растений характеризуется полиморфизмом как по отношению к заряду, так и к локусу. Идентификация сортов ячменя осуществляется по спирторастворимым запасным белкам эндосперма – проламинам (гордеинам), которые контролируются семью сцепленно наследуемыми локусами – Hrd A, Hrd B, Hrd F (полиморфными), Hrd C, Hrd D, Hrd E и Hrd G (отсутствие отдельных компонентов).

В настоящее время определены генетические формулы гордеинов большинства сортов ячменя, допущенных к использованию на территории России и перспективных для включения в реестр. В таблице 1 приведены генетические формулы сортов ячменя, представленные на официальном сайте ФГБУН «Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова» Российской академии наук (Genetic profiles…, 2020) и прошедшие сортоиспытание в Омском АНЦ.

Таблица 1. Генетические формулы гордеина и биотипы гетерозиготных сортов ячменя (из: Genetic profiles …, 2020)

Table 1. Genetic formulas of hordein, and biotypes of heterozygous barley cultivars (from: Genetic profiles…, 2020)

Сорт / Cultivar	Генетические формулы гордеина / Genetic formulas of hordein			Биотипы гетерозиготных сортов / Biotypes of heterozygous cultivars		
	A	B	F			
Омский 91 / Omsky 91, st.	2+12	1+8	2+3	Hrd A2 B1 F2	Hrd A12 B1 F3	Hrd A12B1F3
Челябинский 99 / Chelyabinsky 99	2	8	2	–	–	–
Приазовский 9 / Priazovsky 9	14	8	2	–	–	–
Задел / Zadel	28	84	2	–	–	–
Сокол / Sokol	2	1	3	–	–	–
Зерноградский 584 / Zernogradsky 584	23	29	3	–	–	–
Задонский 8 / Zadonsky 8	2	17	3	–	–	–
Наран / Naran	2+23	19	1	Hrd A2 B19 F1	Hrd A23B19F1	–
Хаджибей / Khadzhibey	2	21	1	–	–	–
Беатрис / Beatrice	23	8	2	–	–	–
Волгарь / Volgar	24+28	8	2	Hrd A24 B8 F2	Hrd A28 B8 F2	–
Княжич / Knyazhich	2	17	3	–		–
Золотник / Zolotnik	2	1+8	2+3	Hrd A2 B8 F2	Hrd A2 B1 F3	–
Зевс / Zevs	2	17	3	–	–	–
Казак / Kazak	28	8	2	–	–	–

Более 70% изучаемых сортов (‘Челябинский 99’, ‘Приазовский 9’, ‘Задел’, ‘Сокол’, ‘Зерноградский 584’, ‘Задонский 8’, ‘Хаджибей’, ‘Беатрис’, ‘Княжич’, ‘Зевс’ и ‘Казак’) являются линейными по гордеин-кодирующим локусам или мономорфными по гордеинам сортами. Такие сорта имеют только один тип электрофореграмм. Остальные сорта (‘Омский 91’, ‘Наран’, ‘Волгарь’ и ‘Золотник’) являются гетерогенными по гордеин-кодирующим локусам, то есть характеризуются двумя и более электрофоретическими спектрами гордеинов, отличающимися по вариантам блоков компонентов, контролируемым, соответственно, одним или более локусами (рис. 1, 2).

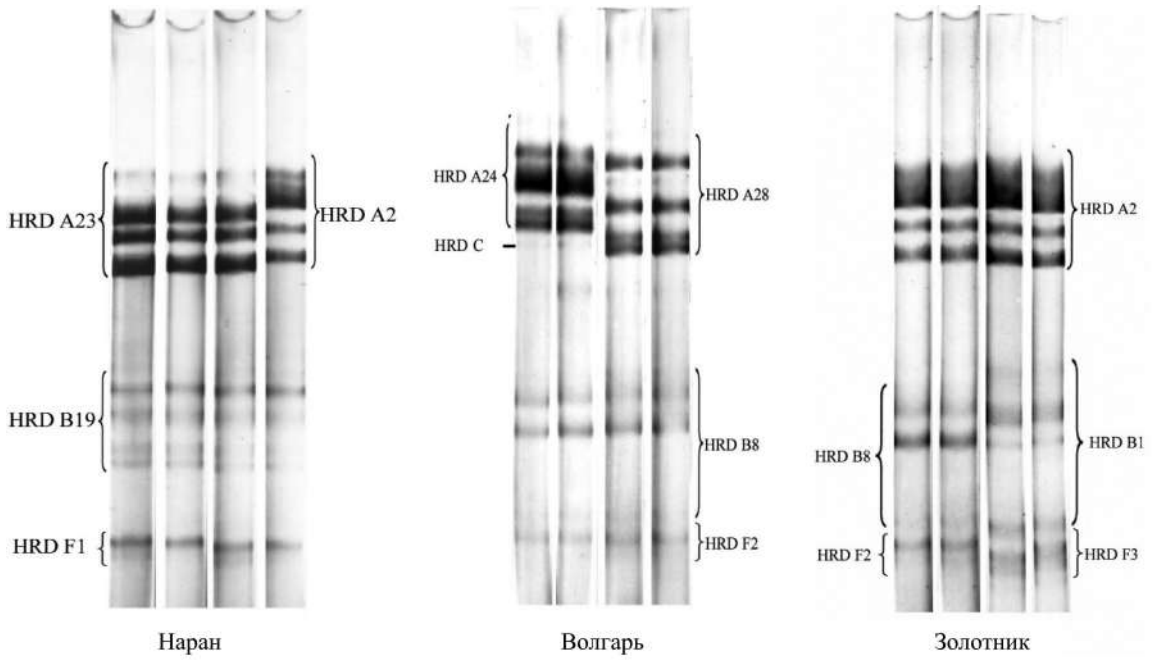

Рис. 1. Электрофоретические спектры гордеинов гетерогенных биотипов сортов Наран, Волгарь и Золотник
(спектры представлены на официальном сайте ФГБУН «Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова» Российской академии наук)

Fig. 1. Electrophoretic spectra of hordeins in the heterogenic biotypes of cvs. Naran, Volgar and Zolotnik
(the spectra are presented on the official website of the Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences)

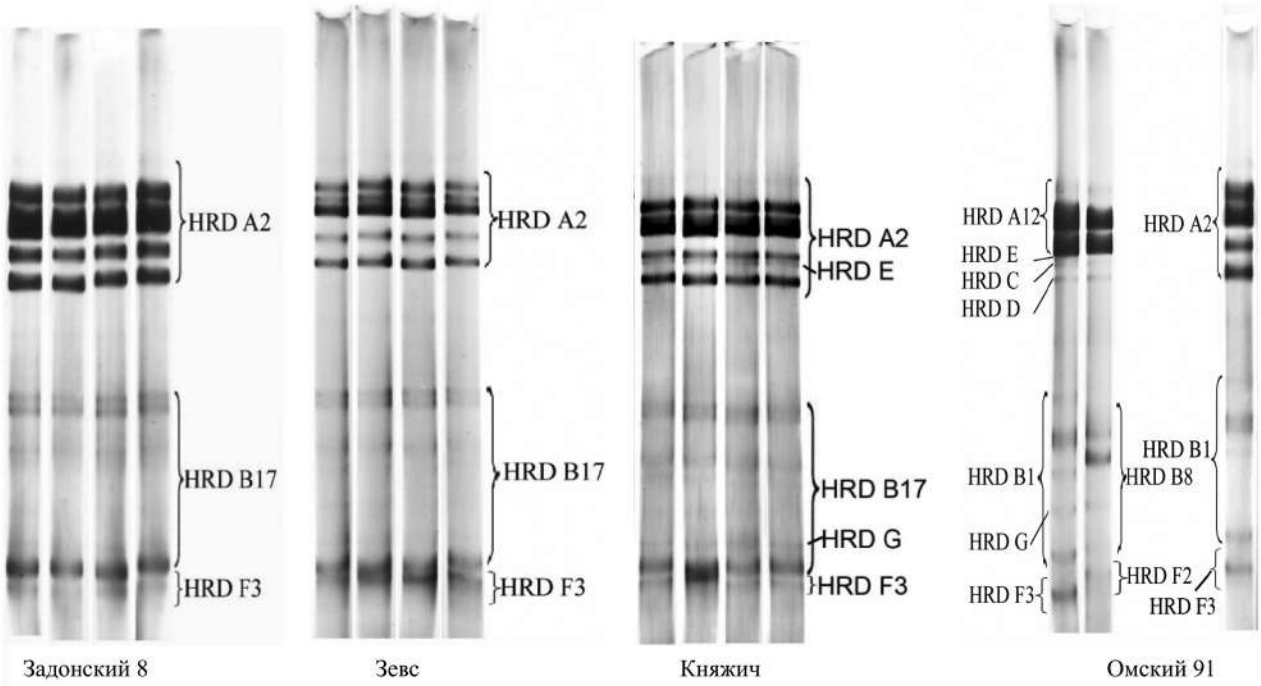

Рис. 2. Электрофоретические спектры гордеинов сортов Омский 91, Задонский 8, Зевс и Княжич
(спектры представлены на официальном сайте ФГБУН «Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова» Российской академии наук)

Fig. 2. Electrophoretic spectra of hordeins for cvs. Omsky 91, Zadonsky 8, Zevs and Knyazhich
(the spectra are presented on the official website of the Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences)

Гетерогенность каждого определенного сорта может быть определена гетерозиготностью родоначального растения, от количества локусов которого в конечном итоге зависит число биотипов сорта. Так, стандартный сорт 'Омский 91' характеризуется сложной структурой популяции по гордеин-кодирующим локусам, которая включает шесть биотипов, различающихся в свою очередь по блокам компонентов, контролируемым аллелями локусов – Hrd A (HRD A2 и HRD A12), Hrd B (Hrd B1 и Hrd B8) и Hrd F (Hrd F2 и Hrd F3) (см. рис. 2). Общая формула гордеинов сорта 'Омский 91': Hrd A2+21 B1+8 F2+3. Также в нашем опыте обнаружены три биотипа данного сорта: Hrd A12B1F3, Hrd A12B8F2 и Hrd A2B1F2.

Характерной особенностью сорта 'Наран' является наличие в его электрофореграмме двух биотипов, которые отличаются по блокам компонентов, контролируемым аллелями только локуса Hrd A: 1 – Hrd A23 B19 F1, 2 – Hrd A2 B19 F1. По всей видимости, родоначальное растение сорта 'Наран' характеризовалось гетерозиготностью по локусу Hrd A и было гомозиготным по локусу Hrd B. Процесс расщепления гетерозигот в последующих поколениях способствовал возникновению двух биотипов, различающихся только по аллелям локуса Hrd A. Сорт Поволжского НИИ селекции и семеноводства 'Волгарь' состоит из двух различающихся по блокам компонентов, контролируемым аллелями локусов Hrd A (Hrd A24 и Hrd A28). Сорт 'Золотник', в отличие от вышеуказанных гетерозиготных сортов, представлен двумя биотипами, отличающимися по блокам компонентов, контролируемым аллелями локусов Hrd B и Hrd F.

В ходе исследований выявлена идентичность исследуемых сортов. Так, один из биотипов сорта 'Волгарь' имеет схожую электрофореграмму с сортом 'Казак' (Hrd A28 B8 F2), а такие сорта как 'Задонский 8', 'Зевс' и 'Княжич' вовсе не отличались между собой по электрофоретическим спектрам гордеинов (Hrd A2 B17 F3) (см. рис. 2). В большинстве случаев это результат родственных связей и общей родословной сортов. Например, сорта 'Волгарь' и 'Казак' – это сложные гибриды, в родословных которых отмечены одни и те же сорта: 'Донецкий 8', 'БИОС 1', 'Нарым 6' и др.

Урожайность является основополагающим агрономическим показателем, определяющим результативность любых исследований (Hill, Li, 2016; Popolzukhin et al., 2018; Povilaitis et al., 2018; Nikolaev et al., 2020). Это интегральный признак, выражение которого зависит от многочисленных составляющих: абио- и биотических показателей, условий интенсификации земледелия, сортовых особенностей возделываемой культуры. В современных агроэкологических условиях, вследствие недостаточной стрессоустойчивости растений, потенциальная урожайность сельскохозяйственных культур реализуется крайне слабо – от 25 до 40% (Feng et al., 2014; Rybas, 2016). Улучшить данный фактор возможно путем более эффективного использования ресурсовосстанавливающей роли сорта, которая оказывает непосредственное влияние на потенциальную продуктивность, но в настоящий момент слабо изучена (Keshavarzi et al., 2013; Varga et al., 2015).

Согласно результатам проведенных исследований, в условиях резко континентального климата средняя урожайность сортов составила 2,9 т/га при максимуме в 2013 г. (3,1 т/га), таблица 2.

Таблица 2. Урожайность сортов ячменя коллекционного питомника, т/га
(ФГБНУ «Омский АНЦ», южная лесостепь Западной Сибири)

Table 2. Yields of barley cultivars grown at the collection nursery, t/ha
(Omsk Agrarian Scientific Center, southern forest-steppe of Western Siberia)

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Сорт / Cultivar	2013	2014	2015	$\bar{\tilde{o}}$	Отношение к ст. / Correlation with ref., %
Стандарт/Reference	Омский 91 / Omsky 91	3,0	2,9	3,5	3,1	100,0
17981	Задел / Zadel	3,7*	3,4*	5,7*	4,3*	139,0
17632	Сокол / Sokol	3,0	1,7	1,8	2,2	71,0
17785	Илек / Ilek	4,3*	0,8	1,4	2,2	77,0
17923	Одон / Odon	3,2	1,9	3,6	2,9	93,0
17777	Безенчукский 3/ Bezenchuksky 3	2,7	2,4	3,3	2,8	90,0
17389	Зерноградский 584 / Zernogradsky 584	2,5	1,4	2,0	2,0	65,0
17914	Ворсинский 2 / Vorsinsky 2	3,4*	3,8*	3,5	3,6*	116,0
17257	Задонский 8 / Zadonsky 8	1,8	2,2	3,0	2,3	74,0
17697	Наран / Naran	3,6*	2,1	3,5	3,1	100,0
17649	Хаджибей / Khadzhibey	1,8	1,8	2,0	1,9	61,0
17400	Приазовский 9 / Priazovsky 9	3,2	3,0	3,1	3,1	100,0
17781	Двина / Dvina	4,2*	2,4	2,4	3,0	97,0
31175	Беатрис / Beatrice	3,0	1,6	2,4	2,3	74,0

Таблица 2. **Окончание**
Table 2. **The end**

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Сорт / Cultivar	2013	2014	2015	$\bar{\tilde{o}}$	Отношение к ст. / Correlation with ref., %
30777	Челябинский 99 / Chelyabinsky 99	2,9	3,0	2,9	2,9	93,0
11924	Витязь / Vityaz	2,8	2,3	2,2	2,4	77,0
16641	Волгарь / Volgar	3,6*	2,6	3,0	3,1	100,0
17115	Поволжский 65 / Povolzhsky 65	4,0*	3,3*	2,7	3,3	106,0
17112	Княжич / Knyazhich	4,0*	2,8	1,9	2,9	93,0
17650	Золотник / Zolotnik	1,5	3,2*	3,4	2,7	87,0
17648	Зевс / Zevs	4,5*	3,3*	3,6	3,8	122,0
17779	Северянин / Severyanin	3,0	2,6	3,1	2,9	93,0
17982	Казак / Kazak	2,9	1,8	3,2	2,6	84,0
17937	Деспина/Despina	2,7	2,6	3,8	3,0	97,0
Среднее по питомнику / Mean for the nursery		3,1	2,5	3,0	2,9	–
$НСР_{05}$		0,3	0,2	0,3	–	–

* – различия достоверны при уровне значимости $p \leq 0,05$

* – differences are statistically significant at p-value ≤ 0.05

Сорта ‘Задел’, ‘Зевс’ и ‘Ворсинский 2’ имели достоверную прибавку к стандартному сорту ‘Омский 91’ (+0,7…+1,2 т/га, что соответствует прибавке от 16,0 до 39,0%). Сорта ‘Поволжский 65’, ‘Наран’, ‘Волгарь’ и ‘Приазовский 9’ характеризовались урожайностью на уровне стандарта (3,1…3,3 т/га).

Достоверная оценка адаптивного потенциала исследуемых сортов требует проведения их экологического испытания при различных статических методах оценки (Saad et al., 2013). Первый этап исследований включает дисперсионный анализ с целью установления существенности вклада генотипа сорта и климатических условий периода испытания на формирование урожайности.

Взаимные действия среды и генотипа имеют разный характер, разные сложность и степень проявления. Считается, что оценка взаимодействия «генотип × среда» определенным образом характеризует стабильность и пластичность исследуемых генотипов; также оно может служить для оценки характерного типа взаимодействия генов (эпистаза) (Bnejdi, El Gazzah, 2010), патогеноустойчивости (Cherif et al., 2010) независимо от вида исследуемой культуры (Abo-Hegazy et al., 2013). Согласно данным проведенных нами исследований, в коллекционном питомнике, представленном сортами различных агроклиматических зон, выявлена достоверно ($F_{факт} > F_{05}$) высокая доля влияния эффектов среды на урожайность (Фактор А = 83,0%), таблица 3.

Таблица 3. **Результаты двухфакторного дисперсионного анализа коллекционных образцов ячменя, рассчитанного по урожайности за 2013–2015 гг.** (ФГБНУ «Омский АНЦ», южная лесостепь Западной Сибири)

Table 3. **Results of a two-way analysis of variance for barley accessions, calculated on the basis of their yield in 2013–2015** (Omsk Agrarian Scientific Center, southern forest-steppe of Western Siberia)

Источник варьирования / Source of variation	DP	SS	MS	S^2	Доли / Fractions	$F_{факт}$	F_{05}
Общее / Total	143,0	96,9	37,0	39,1	–	–	–
Повторности / Replications	2,0	0,9	37,0	39,4	–	–	–
Фактор А (среда) / Factor A (environment)	1,0	16,8	16,8	0,2	83,0	63460,9	3,9
Фактор Б (сорт) / Factor B (cultivar)	23,0	45,4	2,0	0,7	9,7	7455,2	1,6
Взаимодействие А×Б / A×B interaction	23,0	33,8	1,5	0,5	7,3	5547,8	1,6
Остаточное / Residual	94,0	0,0	0,0	0,0	0,0		

Примечание: DP – число степеней свободы; MS – средний квадрат; SS – сумма квадратов; S^2 – дисперсия; F – критерий Фишера

Note: DP is the number of degrees of freedom; MS is the mean square; SS is the sum of squares; S^2 is the dispersion; F is the Fisher criterion

Доли генотипа сорта и взаимодействия «генотип × среда» незначительны (9,7 и 7,3% соответственно). Данный факт свидетельствует о том, что приспособительный характер данного селекционного материала крайне низок; соответственно, исследуемые сорта характеризуются низкой потенциальной урожайностью для резко континентальных условий. Однако, согласно литературным данным, подобная динамика (снижение доли генотипа на фоне возрастания доли, обусловленной экологическими факторами) наблюдается у сортов с высоким потенциалом урожайности (Goncharenko, 2015). Соответственно, можно предположить, что либо низкая урожайность данных сортов наблюдается лишь в исследуемых резко континентальных условиях, либо требуется повышение интенсификации возделывания.

Коэффициент вариации (CV) используется как показатель изменчивости исследуемого признака (Zhou, Steffenson, 2013), а также стабильности генотипов (Ceccarelli, Grando, 1991). Очевидно, что стабильность генотипа будет возрастать при снижении его изменчивости, что в свою очередь может сказаться отрицательно на его приспособительных качествах при возделывании в иных климатических зонах. В наших исследованиях незначительной изменчивостью урожайности обладали следующие сорта ячменя: ‘Приазовский 9’, ‘Челябинский 99’, ‘Хаджибей’ и ‘Северянин’ (CV = 3,2…10,4%).

Использование коэффициента вариации по урожайности зерна в качестве меры изменчивости сортов дает удовлетворительные результаты (Tahir, 2014), но при этом не учитывается уровень продуктивности. Ценными с практической точки зрения являются сорта, сочетающие высокие показатели по урожайности и гомеостатичности (Kurkova et al., 2015). Гомеостатичность сортов (Hom) указывает прежде всего на способность генома сорта поддерживать низкую вариабельность признаков продуктивности, то есть, благодаря проявлению гомеостаза, сорт способен формировать относительно постоянную урожайность в изменяющихся климатических условиях (Hangildin, Asfondiyarova, 1977). Данное обстоятельство особенно актуально для условий резко континентального климата. Мерой гомеостаза служит способность к меньшему снижению урожая при ухудшении условий выращивания. В нашем случае максимально достоверная гомеостатичность зафиксирована у сортов ‘Приазовский 9’, ‘Челябинский 99’ и ‘Ворсинский 2’ (Hom = 0,562…0,968), что существенно превышает стандарт, таблица 4.

Таблица 4. Показатели адаптивной способности образцов ячменя коллекции ВИР, рассчитанной по урожайности за 2013–2015 гг., и их ранжирование
(ФГБНУ «Омский АНЦ», южная лесостепь Западной Сибири)

Table 4. Adaptability parameters in barley accessions from VIR, calculated on the basis of their yield in 2013–2015, and their ranking (Omsk Agrarian Scientific Center, southern forest-steppe of Western Siberia)

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Сорт / Cultivar	CV, %		Hom		ИС		Wi		Сумма рангов / Sum of ranks
		X	ранг / rank	X	ранг / rank	X	ранг / rank	X	ранг / rank	
Стандарт/ Reference	Омский 91 / Omsky 91	10,4	5,0	0,30	5,0	7,7	19,0	0,27	8,0	37,0
17981	Задел / Zadel	29,1	6,0	0,15	13,0	25,5	4,0	2,70	20,0	43,0
17632	Сокол / Sokol	32,9	19,0	0,07	19,0	6,7	23,0	0,53	12,0	73,0
17785	Илек / Ilek	85,0	22,0	0,03	20,0	2,6	24,0	5,11	22,0	88,0
17923	Одон / Odon	30,3	17,0	0,10	16,0	9,5	14,0	0,71	14,0	61,0
17777	Безенчукский 3/ Bezenchuksky 3	16,3	9,0	0,17	11,0	17,1	10,0	0,30	10,0	40,0
17389	Зерноградский 584 / Zernogradsky 584	27,6	15,0	0,07	19,0	7,1	21,0	0,09	1,0	56,0
17914	Ворсинский 2/ Vorsinsky 2	16,4	10,0	0,56	3,0	21,9	6,0	0,64	13,0	32,0
17257	Задонский 8/ Zadonsky 8	26,6	13,0	0,09	17,0	8,6	17,0	1,06	16,0	63,0
17697	Наран / Naran	27,1	14,0	0,11	15,0	11,5	13,0	0,48	11,0	53,0
17649	Хаджибей / Khadzhibey	6,4	3,0	0,25	6,0	15,6	11,0	0,29	9,0	29,0

Таблица 4. Окончание
Table 4.The end

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Сорт / Cultivar	CV, %		Hom		ИС		Wi		Сумма рангов / Sum of ranks
		X	ранг / rank	X	ранг / rank	X	ранг / rank	X	ранг / rank	
17400	Приазовский 9/ Priazovsky 9	3,2	1,0	0,97	1,0	96,1	1,0	0,14	3,0	6,0
17781	Двина / Dvina	34,7	20,0	0,09	17,0	8,7	16,0	1,69	17,0	70,0
31175	Беатрис / Beatrice	30,6	18,0	0,07	19,0	7,5	2,0	0,18	4,0	43,0
30777	Челябинский 99/ Chelyabinsky 99	3,4	2,0	0,85	2,0	84,1	2,0	0,26	7,0	13,0
11924	Витязь / Vityaz	13,5	7,0	0,18	10,0	17,8	8,0	0,20	5,0	30,0
16641	Волгарь / Volgar	16,3	9,0	0,19	9,0	19,0	7,0	0,10	2,0	27,0
17115	Поволжский 65/ Povolzhsky 65	19,7	11,0	0,17	12,0	17,6	9,0	0,83	15,0	47,0
17112	Княжич / Knyazhich	36,2	21,0	0,08	18,0	8,0	18,0	1,96	18,0	75,0
17650	Золотник / Zolotnik	13,4	6,0	0,20	8,0	7,0	22,0	2,87	2,0	38,0
17648	Зевс / Zevs	16,1	8,0	0,24	7,0	23,6	5,0	0,18	4,0	24,0
17779	Северянин / Severyanin	9,1	4,0	0,32	4,0	31,8	3,0	0,22	6,0	17,0
17982	Казак / Kazak	27,6	15,0	0,09	17,0	9,4	15,0	2,20	19,0	66,0
17937	Деспина/Despina	22,2	12,0	0,12	14,0	13,5	12,0	0,83	15,0	53,0
$S\bar{x}$		3,69	1,4	0,05	1,4	7,61	2,4	0,04	2,1	4,3

Примечание: CV – коэффициент вариации по Б. А. Доспехову; Hom – гомеостатичность; ИС – индекс стабильности по В. В. Хангильдину; Wi – пластичность сорта С. Wricke; $S\bar{x}$ – относительная ошибка средней

Note: CV is B.A. Dospekhov's coefficient of variation; Hom is the homeostasis; ИС is V.V. Hangildin's stability index; Wi is Wricke's cultivar plasticity; $S\bar{x}$ is the relative error of the mean

В настоящее время наличие у новых сортов только высокой потенциальной урожайности недостаточно: она должна оптимально сочетаться со стабильностью (Gudzenko et al., 2017; Nikolaev et al., 2019). Данное свойство возможно оценивать одним из многочисленных современных методов, а именно изменчивостью индекса стабильности (ИС) (Hangildin, Asfondiyarova, 1977). Сорта, характеризующиеся повышенным значением данного индекса, являются потенциально адаптивными к исследуемым условиям. Достоверно высокий показатель индекса стабильности в проведенных нами исследованиях отмечен у сортов 'Челябинский 99' и 'Приазовский 9' (ИС = 84,1 и 96,1 соответственно).

Зачастую недооценка важности исследований по экологической пластичности сортов может проявляться в таком отрицательном с точки зрения селекционной практики явлении, как низкая реализация урожайности в сложных климатических условиях (Murugova, 2016; Sadras, Slafer, 2012). При этом, учитывая высокую сопряженность экологической пластичности сорта с его урожайностью (r > 0,7), становится возможным утверждать об отзывчивости данного сорта на изменение условий возделывания (Sapega, 2018). Улучшение экологической устойчивости сортов, что означает повышение их способности к обеспечению высокой и стабильной урожайности независимо от условий произрастания, является основополагающей задачей селекции как в России (Sapega, Tursumbekova, 2015), так и в мировой практике (Mut et al., 2010; Raja et al., 2010). Указанная способность определяется нормой реакции генотипа сорта на факторы внешней среды.

При условии отсутствия генетической реакции сорта на почвенно-климатические условия (узкая экологическая устойчивость), данный сорт характеризуется как устойчивый к действию различных биотических и абиотических стрессоров (Goncharenko, 2015). Оценка сортов по пластичности проводится путем проведения многолетних исследований в контрастных условиях среды (Murugova, 2016).

Показатель эковаленты пластичности по G. Wricke определяется делением суммы квадратов взаимодействия «генотип × среда» на две эковаленты Wi и указывает, насколько сильно тот или иной сорт реагирует на варьирование условий выращивания (Wricke, 1962). При условии высокой пластичности доля эковаленты Wi, вносимая сортом во взаимодействие «генотип × среда», уменьшается. В нашем опыте высокой пластичностью обладали сорта 'Зерноградский 584', 'Волгарь', 'Приазовский 9', 'Беатрис', 'Зевс' и 'Витязь' (Wi = 0,09…0,20).

Оценка сортов несколькими методиками расчета адаптивности может показать противоречивые результаты, что приведет к значительному искажению картины исследований. С целью исключения подобного явления, большинство исследователей предлагают использовать метод ранжирования и окончательную оценку подводить по сумме рангов проведенных исследований (Vazhenina et al., 2013), учитывая, что 1-й ранг наиболее высокий. Таким образом, с 2013 по 2015 г. проведено экологическое сортоиспытание сортов ячменя коллекции ВИР, относящихся к различным регионам допуска и климатическим зонам, на предмет адаптивности данных сортов в условиях резко континентального климата. В результате проведенных исследований отмечены сорта 'Приазовский 9', 'Челябинский 99' и 'Северянин', набравшие меньшую сумму рангов и занявшие первые места по большинству методов оценки (от 6,0 до 17,0). Данные сорта рекомендуются для использования в селекционном процессе при создании экологически адаптивных сортов в зонах резко континентального климата.

Один из выделившихся сортов ('Челябинский 99') в 2014 г. включен в схему гибридизации лаборатории зернофуражных культур Омского АНЦ. В качестве материнских форм использованы сорта селекции Омского АНЦ ('Омский 91' и 'Омский 95'). В 2019 г. отобранные гибридные популяции F_4 высеяны в селекционном питомнике второго года (СП-2), таблица 5. Проведенные исследования позволяют утверждать, что при отборе с соблюдением принципа высокой интенсивности наиболее урожайных популяций (i = 0,35…3,03) наблюдается сверхдоминирование признака (hp > 1), вследствие чего отмечена прибавка у полученных гибридных популяций как по отношению к средней урожайности родительских сортов (+1,20 т/га), так и к урожайности лучшего родительского сорта (+0,76 т/га).

Таблица 5. Урожайность выделившихся гибридных популяций, селекционный питомник второго года, 2019 г. (ФГБНУ «Омский АНЦ», южная лесостепь Западной Сибири)

Table 5. Yields of the best hybrid populations identified in the second-year breeding nursery, 2019 (Omsk Agrarian Scientific Center, southern forest-steppe of Western Siberia)

Гибридная популяция / Hybrid population	Урожайность, т/га / Yield, t/ha			*i*	hp	S
	$\frac{P1+P2}{2}$	лучший родительский сорт / best parent cultivar	популяция / population			
Омский 91 × Челябинский 99 (940)	4,74	4,69 (♂)	5,68*	1,75	10,00	0,94
Омский 91 × Челябинский 99 (945)	4,74	4,69 (♂)	5,20	0,86	5,64	0,46
Омский 91 × Челябинский 99 (946)	4,74	4,69 (♂)	5,04	0,56	4,18	0,30
Омский 95 × Челябинский 99 (947)	4,74	4,69 (♂)	5,68*	1,75	10,00	0,94
Омский 95 × Челябинский 99 (949)	4,85	5,01 (♀)	5,04	0,35	1,19	0,19
Омский 95 × Челябинский 99 (950)	4,85	5,01 (♀)	6,00*	2,14	7,19	1,15
Омский 95 × Челябинский 99 (953)	4,85	5,01 (♀)	6,48*	3,03	10,19	1,63
Среднее / Mean	4,79	4,83	5,59	1,49	6,91	0,80

Примечание: P – родительская форма; *i* – интенсивность отбора; hp – степень доминирования; S – селекционный дифференциал; * – различия достоверны при уровне значимости $p \leq 0,05$

Note: P – is the parent form; *i* – is the selection intensity; hp – is the degree of dominance; S is the selection differential; * – differences are statistically significant at *p*-value ≤ 0.05

Наиболее перспективными популяциями, которые рекомендуются для дальнейших исследований, являются: Омский 91 × Челябинский 99 (940), Омский 91 × Челябинский 99 (947), Омский 95 × Челябинский 99 (950) и Омский 95 × Челябинский 99 (953). Данные популяции характеризуются максимальной по опыту урожайностью (+0,99…+1,47 т/га к лучшему родительскому сорту) при высокой интенсивности отбора (*i* = 1,75…3,03) и селекционном дифференциале (S = 0,94…1,63).

Заключение

Оценка адаптивной способности сортов рядом методов показала, что из 24 исследованных сортов коллекции ВИР наиболее приспособлены для условий резко континентального климата мономорфные сорта 'Приазовский 9' (к-17400) и 'Челябинский 99' (к-30777), а также не включенный в Государственный реестр селекционных достижений РФ сорт 'Северянин' (к-17779). Данные сорта по результатам исследований набрали меньшую сумму рангов (от 8 до 29). Адаптивность выделенных сортов подтверждена получением урожайных гибридных популяций выделенного адаптивного сорта 'Челябинский 99' с сортами селекции Омского АНЦ – 'Омский 91' и 'Омский 95'. Полученные линии имели прибавку по отношению как к средней урожайности родительских сортов (+1,20 т/га), так и к урожайности лучшего родительского сорта (+0,76 т/га).

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическим планам:

ФГБНУ «Омский АНЦ» по теме № 0797-2019-0009 «Создание новых сортов зернобобовых культур (горох и соя), зернофуражных (ячмень, овес) и многолетних трав (люцерна, кострец безостый) с улучшенными показателями продуктивности и качества, повышенной устойчивостью к болезням, к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам среды»;

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 plans of:

Omsk Agrarian Scientific Center, Theme No 0797-2019-0009 "Development of New Legume Crop (Pea and Soybean), Grain Forage (Barley and Oat) and Perennial Grass (Alfalfa and Awnless Bromegrass) Cultivars with Improved Indicators of Productivity and Quality, Increased Resistance to Diseases, Unfavorable Biotic and Abiotic Environmental Stressors"; and

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

Abo-Hegazy S.R.E., Selim T., Ashrie A.A.M. Genotype × environment interaction and stability analysis for yield and its components in lentil. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*. 2013;5(5):85-90. DOI: 10.5897/JPBCS12.066

Bnejdi F., El Gazzah M. Epistasis and genotype-by-environment interaction of grain yield related traits in durum wheat. *Journal of Plant Breeding and Crop Science.* 2010;2(2):24-29. DOI: 10.5897/JPBCS.9000047

Ceccarelli S., Grando S. Selection environment and environmental sensitivity in barley. *Euphytica*. 1991;57(2):157-167. DOI: 10.1007/BF00023074

Chayka V.M., Rubezhniak I.G., Grib O.G. Effect of climatic changes on the productivity of agrocoenoses and semi-natural forest-steppe ecosystems. *Science and Society*. 2013;1:192-201.

Cherif M., Rezgui S., Devaux P., Harrabi M. Genotype × environment interactions and heritability of quantitative resistance to net blotch in Tunisian barley. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*. 2010;2(5):110-116.

Dospekhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Alyans; 2011. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Альянс; 2011).

Feng B., Liu P., Li G., Dong S.T., Wang F.H., Kong L.A. et al. Effect of heat stress on the photosynthetic characteristics in flag leaves at the grain-filling stage of different heat-resistant winter wheat varieties. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2014;200(2):143-155. DOI: 10.1111/jac.12045

Genetic profiles for alleles of hordein-coding loci in the barley cultivars of *Hordeum vulgare* L. used in the Russian Federation (Geneticheskiye pasporta po allelyam gordeinkodiruyushchikh lokusov u sortov yachmenya *Hordeum vulgare* L., ispolzuyemykh v Rossiyskoy Federatsii). Vavilov Institute of General Genetics. 2011-2020. [in Russian] (Генетические паспорта по аллелям гордеинкодирующих локусов у сортов ячменя *Hordeum vulgare* L., используемых в Российской Федерации). Институт общей генетики имени Н.И. Вавилова. URL: http://vigg.ru/database/rastenija/genetics-veg/test-lab/hordeum-vulgare/ [дата обращения: 30.07.2020].

Goncharenko A.A. Problem of ecological stability of grain crop varieties and breeding tasks. *Agrarian Reporter of South-East.* 2015;1-2(12-13):32-35. [in Russian] (Гончаренко А.А. Проблема экологической устойчивости сортов зерновых культур и задачи селекции. *Аграрный Вестник Юго-Востока*. 2015;1-2(12-13):32-35).

Gudzenko V.M., Demidov O.A., Vasilkivskiy S.P., Kolyadenko S.S. Graphical analysis of adaptability of spring barley breeding lines in the Central Forest-Steppe zone of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2017;13(1):20-27. [in Ukrainian] (Гудзенко В.М., Демидов О.А., Васильківський С.П., Коляденко С.С. Графічный аналіз адаптивності селекційних ліній ячменю ярого в Центральному Лісостепу України. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2017;13(1):20-27). DOI: 10.21498/2518-1017.1.2017.97233

Hangildin V.V., Asfondiyarova R.R. Manifestation of homeostasis in pea hybrids (Proyavleniye gomeostaza u gibridov gorokha posevnogo). *Biologicheskiye nauki = Biological Sciences*. 1977;(1):116-121. [in Russian] (Хангильдин В.В., Асфондиярова Р.Р. Проявление гомеостаза у гибридов гороха посевного. *Биологические науки*. 1977;(1):116-121).

Herger N., Angélil O., Abramowitz G., Donat M., Stone D., Lehmann K. Calibrating climate model ensembles for assessing extremes in a changing climate. *JGR Atmospheres*. 2018;123(11):5988-6004. DOI: 10.1029/2018JD028549

Hill C.B., Li C. Genetic architecture of flowering phenology in cereals and opportunities for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:1906. DOI: 10.3389/fpls.2016.01906

Keshavarzi M., Miri H.R., Haghighi B.J. Effect of water deficit

stress on grain yield and yield components of wheat cultivars. *Agronomy and Plant Production*. 2013;4(6):1376-1380.

Klykov A.G., Moiseyenko L.M., Murugova G.A. Evaluation of cultivars adaptation of spring barley productivity in Primorsky Krai. *Achievements of Science and Technology of AIC.* 2014;2:27-29. [in Russian] (Клыков А.Г., Моисеенко Л.М., Муругова Г.А. Оценка адаптивности сортообразцов ярового ячменя по продуктивности в приморском крае. *Достижения науки и техники АПК*. 2014;2:27-29).

Kurkova I.V., Kuznetsova A.S., Terekhin M.V. Parameters of environmental plasticity of cultivars and varieties of Amur spring barley. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2015;3(36):19-24. [in Russian] (Куркова И.В., Кузнецова А.С., Терехин М.В. Параметры экологической пластичности сортов и сортообразцов ярового ячменя Амурской селекции. *Вестник НГАУ*. 2015;3(36):19-24).

Laboratory varietal control of barley seeds by electrophoretic analysis of grain storage proteins (Laboratorny sortovoy kontrol semyan yachmenya metodom elektroforeticheskogo analiza zapasnykh belkov zerna). UAPDF.COM. [in Russian] (Лабораторный сортовой контроль семян ячменя методом электрофоретического анализа запасных белков зерна). UAPDF.COM. URL: http://vigg.ru/fileadmin/user_upload/Podrazdeleniya/Ispytatelnaja_laboratorija/Metodika_ehlektroforeza_gordeinov.pdf [дата обращения: 30.07.2020].

Labudová L., Faško P., Ivanáková G. Changes in climate and changing climate regions in Slovakia. *Moravian Geographical Reports*. 2015;23(3);70-81. DOI: 10.1515/mgr-2015-0019

Lipka O.N. Methodological approaches to Climate change vulnerability assessment of Protected Areas. *Nature Conservation Research*. 2017;2(3):68-79. DOI: 10.24189/ncr.2017.036

Murugova G.A. Evaluation of spring barley initial material on ecological plasticity in the conditions of Primorsky Krai. *Agrarny vestnik Primorya = Agrarian Bulletin of Primorye.* 2016;3(3):26-30. [in Russian] (Муругова Г.А. Оценка исходного материала ярового ячменя по экологической пластичности в условиях Приморского края. *Аграрный вестник Приморья*. 2016;3(3):26-30).

Mut Z., Aydin N., Bayramoglu H.O., Ozcan H. Stability of some quality traits in bread wheat (*Triticum aestivum*) genotypes. *Journal of Environmental Biology*. 2010;31(4):489-495.

Nevo E. Evolution of wild barley at "Evolution Canyon": adaptation, speciation, pre-agricultural collection, and barley improvement. *Israel Journal of Plant Sciences*. 2015;62(1-2):22-32. DOI: 10.1080/07929978.2014.940783

Nikolaev P.N., Yusova O.A., Aniskov N.I., Safonova I.V. Agrobiological characteristics of hulless barley cultivars developed at Omsk Agrarian Scientific Center. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding.* 2019;180(1):38-43. [in Russian] (Николаев П.Н., Юсова О.А., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Агробиологическая характеристика многорядных голозерных сортов ячменя селекции Омского АНЦ. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(1):37-43). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-38-43

Polonskiy V.I., Sumina A.V., Shaldaeva T.M. Proteins and carbohydrates content in barley and oats seeds at Siberian breeding. *Advances in Current Natural Sciences.* 2018;1:49-55. [in Russian] (Полонский В.И., Сумина А.В., Шалдаева Т.М. Содержание белков и углеводов в зерне ячменя и овса Сибирской селекции. *Успехи современного естествознания*. 2018;1:49-55).

Popolzukhin P.V., Nikolaev P.N., Aniskov N.I., Yusova O.A., Safonova I.V. Evaluation of productivity and adaptive properties of spring barley varieties under conditions of the Siberian Irtysh region. *Zemledelie = Crop Farming.* 2018;3:40-43. [in Russian] (Поползухин П.В., Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Юсова О.А., Сафонова И.В. Оценка продуктивности и адаптивных свойств сортов ярового ячменя в условиях Сибирского Прииртышья. *Земледелие*. 2018;3:40-43). DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10309

Potanin W.G., Aleinikov A.L., Stepochkin P.I. Stepochkin P.I. A new approach to estimation of the ecological plasticity of plant varieties. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2014;18(3):548-552. [in Russian] (Потанин В.Г., Алейников А.Л., Стёпочкин П.И. Новый подход к оценке экологической пластичности сортов растений. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014;18(3):548-552).

Povilaitis V., Lazauskas S., Antanaitis Š., Feizienė D., Feiza V., Tilvikienė V. Relationship between spring barley productivity and growing management in Lithuania's lowland. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B – Soil and Plant Science.* 2018;68(1):86-95. DOI: 10.1080/09064710.2017.1367834

Prikaziuk Y.G. Specific features of wild barley (*Hordeum spontaneum* C. Koch) varieties distribution connection with species origin problem. *Eastern European Scientific Journal*. 2013;5:20-21. DOI: 10.12851/EESJ201310ART05

Raja S., Bagle B.G., More T.A. Drumstick (*Moringa oleifera* Lamk.) improvement for semiarid and arid ecosystem: Analysis of environmental stability for yield. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*. 2013;5(8):164-170. DOI: 10.5897/JPBCS12.029

Rapacz M., Stepień A., Skorupa K. Internal standards for quantitative RT-PCR studies of gene expression under drought treatment in barley (*Hordeum vulgare* L.): the effects of developmental stage and leaf age. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2012;34:1723-1733. DOI: 10.1007/s11738-012-0967-1

Robinson L.H., Juttner J., Milligan A., Lahnstein J., Eglinton J.K., Evans D.E. The identification of a barley haze active protein that influences beer haze stability: Cloning and characterisation of the barley SE protein as a barley trypsin inhibitor of the chloroform/methanol type. *Journal of Cereal Science*. 2007;45(3):343-352. DOI: 10.1016/j.jcs.2006.08.012

Rybas I.A. Breeding grain crops to increase adaptability (review). *Agricultural Biology.* 2016;51(5):617-626. [in Russian] (Рыбась И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2016;51(5):617-626). DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus

Saad F.F., El-Mohsen A.A.A., Al-Soudan I.H. Parametric statistical methods for evaluating barley genotypes in multi-environment trials. *World Essays Journal*. 2013;1(4):125-136.

Sadras V.O., Slafer G.A. Environmental modulation of yield components in cereals: Heritabilities reveal a hierarchy of phenotypic plasticities. *Field Crops Research*. 2012;127:215-224. DOI: 10.1016/j.fcr.2011.11.014

Sapega V.A. Assessment productivity, ecological plasticity and adaptability of spring barley varieties. *Agrarian Russia*. 2018;1:3-8. [in Russian] (Сапега В.А. Оценка сортов ярового ячменя по урожайности, экологической пластичности и адаптивности. *Аграрная Россия*. 2018;1:3-8).

Sapega V.A., Tursumbekova G.Sh. Productivity and adaptability

of the winter rye variety in North Transurals. *Zemledelie = Crop Farming.* 2015;2:45-46. [in Russian] (Сапега В.А., Турсумбекова Г.Ш. Урожайность и адаптивность сортов озимой ржи в Северном Зауралье. *Земледелие*. 2015;2:45-46).

Sarkar B., Sharma R.C., Verma R.P.S., Sarkar A., Sharma I. Identifying superior feed barley genotypes using GGE biplot for diverse environments in India. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 2014;74(1):26-33. DOI: 10.5958/j.0975-6906.74.1.004

Shamanin V.P., Trushchenko A.Yu. General breeding and variety studies of field crops (Obshchaya selektsiya i sortovedeniye polevykh kultur). Omsk; 2006. [in Russian] (Шаманин В.П., Трущенко А.Ю. Общая селекция и сортоведение полевых культур. Омск; 2006).

Surin N.A., Lyakhova N.E., Gerasimov S.A. Comprehensive breeding patterns assessment on adaptability in the Eastern Siberia region in the selection of barley. *Bulletin of Kemerovo State University*. 2015;4(64);98-103. [in Russian] (Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А. Комплексная оценка селекционного материала в селекции ячменя на адаптивность в Восточносибирском регионе. *Вестник Кемеровского государственного университета*. 2015;4(64):98-103).

Tahir N.A.R. Comparison of Rapd-Pcr and Sds-Page techniques to evaluate genetic variation among nine barley varieties (*Hordeum* spp.). *Malaysian Applied Biology*. 2014;43(1):107-117.

Varga B., Vida G., Varga-László E., Bencze S., Veisz O. Effect of simulating drought in various phenophases on the water use efficiency of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2015;201(1):1-9. DOI: 10.1111/jac.12087

Vazhenina O.E., Kozachenko M.R., Vasko N.I., Naumov A.G. Environmental sustainability of productivity elements of spring barley varieties and efficiency of breeding on the bases of hybridization. *Bulletin of Sumy National Agrarian University.* 2013;11:164-169. [in Russian] (Важенина О.Е., Козаченко М.Р., Васько Н.И., Наумов А.Г. Экологическая стабильность элементов продуктивности сортов ячменя ярового и эффективность селекции на основе их использования в гибридизации. *Вестник Сумского национального аграрного университета*. 2013;11:164-169).

Wricke G. Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Strenbreite in Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*. 1962;47(1):92-96. [in German]

Yusova O.A., Nikolaev P.N., Safonova I.V., Aniskov N.I. Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(2):42-49. [in Russian] (Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(2):42-49). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49

Zhou H., Steffenson B. Genome-wide association mapping reveals genetic architecture of durable spot blotch resistance in US barley breeding germplasm. *Molecular Breeding*. 2013;32:139-154. DOI: 10.1007/s11032-013-9858-4

Zielke R.A. Applied genetics: Lecture course. Novosibirsk: Novosibirsk State Agrarian University; 2012. [in Russian] (Цильке Р.А. Прикладная генетика: Курс лекций. Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет; 2012).

Zobova N.V., Onuphrienok T.V., Chuslin A.A. Polymorphism traits of Siberian barley prolamines. *Achievements of Science and Technology of AIC.* 2014;6:7-10. [in Russian] (Зобова Н.В., Онуфриенок Т.В., Чуслин А.А. Особенности полиморфизма проламинов сортов ячменя, возделываемых в Красноярском крае. *Достижения науки и техники АПК.* 2014; 6:7-10).

Zobova N.V., Surin N.A., Gerasimov S.A., Chuslin A.A., Onufrienok T.V. Spectra of prolamines in agroecological evaluation of the collection barley. *Achievements of Science and Technology of AIC.* 2018;32(5):45-47. [in Russian] (Зобова Н.В., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Чуслин А.А., Онуфриенок Т.В. Спектры проламинов в агроэкологической оценке коллекционного материала ячменя. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(5):45-47).

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

Юсова О.А., Николаев П.Н., Бендина Я.Б., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(4):44-55. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55

Yusova O.A., Nikolaev P.N., Bendina Ya.B., Safonova I.V., Aniskov N.I. Stress resistance in barley cultivars of various agroecological origin under extreme continental climate conditions. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(4):44-55. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55

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/10.30901/2227-8834-2020-4-44-55

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
Yusova O.A. https://orcid.org/0000-0003-3679-8985
Nikolaev P.N. https://orcid.org/0000-0002-5192-2967
Safonova I.V. https://orcid.org/0000-0001-8138-930X
Aniskov N.I. https://orcid.org/0000-0002-7819-8286