Устойчивость допущенных к использованию в России сортов ячменя к вредным организмам и токсичным ионам алюминия

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-120-127

УДК 633.16: 58.051

Поступление/Received: 09.04.2020

Принято/Accepted: 21.09.2020

Р. А. АБДУЛЛАЕВ¹, Б. А. БАТАШЕВА^{2*},
Н. В. АЛПАТЬЕВА¹, М. А. ЧУМАКОВ¹,
Е. Е. РАДЧЕНКО¹, О. Н. КОВАЛЕВА¹, О. В. ЯКОВЛЕВА¹

Resistance of barley cultivars approved
for use in Russia to harmful organisms
and toxic aluminum ions

R. A. ABDULLAEV¹, B. A. BATASHEVA^{2*},
N. V. ALPATIEVA¹, M. A. CHUMAKOV¹,
E. E. RADCHENKO¹, O. N. KOVALEVA¹, O. V. YAKOVLEVA¹

¹ Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, 42, 44
✉ abdullaev.1988@list.ru

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
✉ abdullaev.1988@list.ru

² Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
Дагестанская опытная станция – филиал ВИР,
368612 Россия, Республика Дагестан, г. Дербент,
с. Вавилово

² N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
Dagestan Experiment Station of VIR,
Vavilovo Village, Derbentsky District,
Republic of Dagestan 368612, Russia
✉ kostek-kum@rambler.ru

* ✉ kostek-kum@rambler.ru

Актуальность. Наиболее рациональный способ снижения потерь урожая ячменя от болезней, вредителей и неблагоприятных эдафических факторов – селекция устойчивых сортов. Цель работы – оценить диапазон изменчивости возделываемых в России сортов по устойчивости к мучнистой росе, карликовой ржавчине, обыкновенной злаковой тле и токсичным ионам алюминия. **Материалы и методы.** Изучили 248 сортов ячменя (168 – отечественной и 80 – зарубежной селекции), включенных в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ. Устойчивость растений к возбудителям мучнистой росы и карликовой ржавчины исследовали в лабораторных и полевых условиях. Выделившиеся по устойчивости к мучнистой росе сорта анализировали с помощью молекулярных маркеров. В лаборатории осуществили скрининг ячменя по устойчивости к обыкновенной злаковой тле. Для изучения чувствительности образцов к токсичным ионам алюминия использовали лабораторный метод ранней диагностики признака – метод корневого теста. **Результаты и выводы.** Полевой и лабораторный скрининг позволил выявить довольно широкое разнообразие возделываемых в России сортов ячменя по устойчивости к вредным организмам и эдафическому стрессору. Установлено, что 24 сорта устойчивы к мучнистой росе, из них 14 являются носителями эффективного аллеля *mlo11*. Два сорта устойчивы к возбудителям мучнистой росы и карликовой ржавчины. У 11 сортов выявлена отчетливо выраженная устойчивость к обыкновенной злаковой тле. Высокая устойчивость к токсичным ионам алюминия по индексу длины корня и роста отмечена у 26 сортов. Выявлены образцы с комплексной устойчивостью к вредным организмам и эдафическому стрессору.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., резистентность, мучнистая роса, карликовая ржавчина, обыкновенная злаковая тля, алюминий.

Background. The most rational way to reduce barley crop losses from diseases, pests and adverse edaphic factors is cultivation of resistant varieties. The specificity of the host-pathogen interactions necessitates a constant search for new donors of resistance for breeding, and phytosanitary monitoring of cultivars. **Materials and methods.** The research material comprised 248 barley cultivars included in the State Register of Selection Achievements Admitted for Usage in the Russian Federation – 168 were developed domestically, and 80 by foreign breeders. Their resistance to powdery mildew and leaf rust was studied in under laboratory and field conditions. Barley cultivars distinguished for powdery mildew resistance were analyzed using molecular markers. In the laboratory, barley was screened for greenbug resistance. To study the sensitivity to toxic aluminum ions in barley, we used the laboratory method for the early diagnosis of the trait – the root test method. **Results and conclusions.** Field and laboratory screening revealed a fairly wide diversity of barley cultivated in Russia in terms of resistance to harmful organisms and the edaphic stressor. It was established that 24 barley cultivars were resistant to powdery mildew, and 14 accessions were carriers of the effective *mlo11* allele. Two cultivars manifested combined resistance to powdery mildew and barley leaf rust. In 11 cultivars, a distinct greenbug resistance was revealed. High resistance to toxic aluminum ions according to the root and sprout length indices was observed in 26 cultivars. Accessions with the complex resistance to harmful organisms and the edaphic stressor were identified.

Key words: *Hordeum vulgare* L., resistance, powdery mildew, leaf rust, greenbug, aluminum.

Введение

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) – одна из важнейших зерновых культур в мире. В основных регионах выращивания ячменя достаточно часто отмечается неблагоприятное сочетание климатических и почвенных условий. Ячмень более устойчив к сезонным колебаниям в сравнении с пшеницей и большинством других зерновых культур, однако значительная часть урожая теряется в результате деградации почвенного плодородия, распространения на посевах вредителей и болезней. Наиболее рациональным способом решения этой проблемы является селекция устойчивых сортов.

Ячмень относительно восприимчив к избыточной почвенной кислотности (Wu et al., 2018). Одним из самых распространенных токсикантов, ограничивающих продуктивность растений на кислых почвах, является алюминий. Широко распространенные алюмосиликатные минералы не токсичны для растений, а вредное влияние возникает при высвобождении ионов Al^{3+} из минералов в почвенный раствор с pH ниже 5. При этом замедляются рост и развитие растений, что приводит к уменьшению сбора зерна и даже гибели растений (Panda et al., 2009; Yakovleva, 2018). Большинство исследований показало, что толерантность к вредному воздействию алюминия у ячменя контролируется одним или двумя доминантными генами, а также генами с малым эффектом (Minella, Sorrells, 1997; Wang et al., 2006; Rigin, Yakovleva, 2006; Bian et al., 2015), однако есть сведения, что отсутствие чувствительности к ионам алюминия у ячменя является количественным признаком и может зависеть от концентрации токсичного элемента (Navakode et al., 2009).

Дифференциальное взаимодействие подавляющего большинства вредных организмов с растением-хозяином обуславливает необходимость перманентного поиска новых устойчивых форм для вовлечения их в селекцию с целью расширения генетического разнообразия возделываемых сортов ячменя.

Мучнистая роса ячменя (возбудитель – *Blumeria graminis* (DC.) Golovin ex Speer f. sp. *hordei* Marchal) и карликовая ржавчина (*Puccinia hordei* G.H. Otth.) – наиболее распространенные и вредоносные заболевания ячменя в России. Патогены поражают практически все надземные части растения, но преимущественно стебель и листья. Описано свыше 100 генов, контролирующих устойчивость ячменя к мучнистой росе, большая часть которых является аллельными вариантами локусов *Mla* и *Mlo*. Так, известны 39 аллелей гена *Mla* (хромосома 1H) и 44 – *Mlo* (хромосома 4H) (Jørgensen, 1994; Seeholzer, 2009; Reinstädler et al., 2010; Kusch, Panstruga, 2017). К сожалению, большая часть идентифицированных генов уже не эффективна против популяций *B. graminis*. Длительную устойчивость ячменя к патогену во всем мире обеспечивают ген *mlo11* и отчасти *mlo9*. В настоящее время 75% выращиваемых в Европе сор-

тов защищены этими генами (Dreiseitl, 2017). Устойчивость к возбудителю карликовой ржавчины контролируется 26 генами *Rph* (Park et al., 2015; Kavanagh et al., 2017; Yu et al., 2018), причем, как и в случае с *B. graminis*, большинство аллелей неэффективны против *P. hordei*.

Обыкновенная злаковая тля (*Schizaphis graminum* Rondani) – один из самых распространенных вредителей зерновых, причем ячмень наиболее предпочитает насекомыми (Schwessing, Wilde, 1979). Известно лишь два гена (*Rsg1* и *Rsg2*), определяющих специфическую устойчивость к вредителю (Porter et al., 2007). Сведения об устойчивости к фитофагу возделываемых в России сортов отсутствуют.

Цель настоящей работы – оценить диапазон изменчивости допущенных к использованию в России сортов ячменя по устойчивости к мучнистой росе, карликовой ржавчине, обыкновенной злаковой тле и токсичным ионам алюминия.

Материалы и методы

Материалом для исследования служили 248 сортов ячменя, включенных в Государственный реестр селекционных достижений и допущенных к использованию на территории России. Изученная коллекция состояла из образцов отечественной (168) и зарубежной (80) селекции.

Оценку устойчивости к *B. graminis* проводили в лабораторных и полевых условиях. В климатической камере Barnstead 845-2 при 12-часовом фотопериоде и температуре 16°C (день) и 13°C (ночь) изучили 248 сортов. По 20 зерен изучаемых образцов высевали в пластиковые кюветы на смоченную водой вату, помещали в климатическую камеру, и через неделю проростки заражали путем стряхивания на них конидий гриба с сильно пораженных мучнистой росой растений. Растения инокулировали северо-западной (Санкт-Петербург, Пушкин) популяцией *B. graminis*. Оценку устойчивости проводили с помощью шкалы от 0 (высокоустойчивый) до 4 (Mains, Dietz, 1930).

У выделившихся по устойчивости к мучнистой росе сортов с помощью молекулярных маркеров идентифицировали ген неспецифической устойчивости *mlo11*, широко использовавшийся в селекционных программах стран Европы (Dreiseitl, 2017). Геномную ДНК выделяли из семидневных проростков по методике D. B. Dorokhov, E. A. Klocke (1997) с модификациями (Anisimova et al., 2018). Концентрацию ДНК определяли с помощью спектрофотометра Implen NanoPhotometer. Для идентификации локуса *mlo11* использовали пары праймеров ADUP7-Mlo6 и Mlo6-Mlo10 (Piffanelli et al., 2004). Последовательности праймеров представлены в таблице 1. ПЦР проводили в объеме 25 мкл смеси, содержащей 1X ПЦР буфер, dNTPs (0,2 mM каждого), праймеры (0,25 мкМ каждого), $MgCl_2$ (2 mM), 50 нг геномной ДНК, 1 е.а. Таq ДНК полимеразы (Диалат). Ам-

Таблица 1. Праймеры для идентификации аллеля *mlo11*

Table 1. Primers for the *mlo11* allele identification

Праймер	Нуклеотидные последовательности (5'-3')	Литературный источник
ADUP7 Mlo6 Mlo10	CTCAAGCTTGCCACCATGTCCGACAAAAAAGGG CATCTACTACTAGCATGTACC GTCCTGCCACCTAAGTAGCAG	P. Piffanelli et al. (2004)

плификацию выполняли на приборе ICycler (Bio-Rad, США) в следующем режиме: 5 мин при 94°C, 35 циклов при 94°C (30 сек), 47°C или 55°C (30 сек), 72°C (30 сек) и финальная элонгация 72°C (7 мин). Детекцию продуктов амплификации проводили в 1,5-процентном агарозном геле. Для оценки размера фрагментов использовали ДНК-маркер FastRuler Middle Range DNA Ladder (Fermentas).

В 2019 г. на экспериментальном поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург, Пушкин) изучили устойчивость сортов ячменя к возбудителям мучнистой росы и карликовой ржавчины. Устойчивость оценивали в период колошения и в фазу молочной спелости зерна с помощью балловых шкал от 1 (устойчивость очень низкая) до 9 (Loskutov et al., 2012). В качестве восприимчивого контроля использовали сорт ярового ячменя 'Белогорский' (к-22089, Ленинградская обл.).

Скрининг сортов ячменя по устойчивости к *S. graminum* проводили в лабораторных условиях при 16-часовом фотопериоде и температуре воздуха 20–25°C. Семена изучаемых сортов и восприимчивого контроля (сорт 'Белогорский') высевали рядами в кюветы с почвой. Ювенильные растения заселяли краснодарской (Кубанская опытная станция – филиал ВИР, Гулькевичский район) популяцией тли из расчета 4 особи на растение. При гибели контрольного сорта (обычно на 10–14 день после заселения) образцы оценивали по шкале от 0 (нет повреждений) до 10 (повреждено 91–100% листовой поверхности). Растения с баллами 1–4 относили к устойчивому классу, 9–10 – к восприимчивому (Radchenko, 2008). Выделившиеся образцы тестировали повторно.

Для изучения чувствительности ячменя к токсичным ионам алюминия использовали лабораторный метод ранней диагностики признака – метод корневого теста (Yakovleva et al., 2009; Yakovleva, Kovaleva, 2015). Средние значения длины зародышевых корней в опыте (185 мкМ Al^{3+} , pH = 4,0) соотносили со средним значением длины в контроле (без добавления солей алюминия, pH = 6,5) и рассчитывали индекс длины корня. Одновременно измеряли длину ростка и затем определяли индекс его длины (ИДР), используя этот показатель как дополнительный тестовый признак. В качестве сортов-тестеров брали сорта с известной алюмоустойчивостью: 'Полярный 14' и 'Московский 121'. По степени чувствительности к ионам алюминия изученные образцы распределяли на 5 групп. К первой группе относили сорта с высокой устойчивостью (ИДК > 0,81), к пятой – неустойчивые (ИДК < 0,30).

Результаты и обсуждение

Скрининг допущенных к использованию на территории России сортов продемонстрировал довольно широкое разнообразие ячменя по резистентности к *B. graminis*. Устойчивостью, более или менее выраженной, характеризовались 24 сорта (табл. 2). Образцы к-29914, к-30983, к-31289 умеренно устойчивы только на ювенильной стадии развития. Двенадцать изученных форм устойчивы к мучнистой росе в период колошения и в фазу молочной спелости, но восприимчивы к патогену в ювенильной фазе. Гетерогенными при искусственном заражении оказались два образца (к-31062, к-31250).

Таблица 2. Сорта ячменя, выделившиеся по устойчивости к мучнистой росе

Table 2. Barley cultivars with resistance to powdery mildew

№ по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Разновидность	Устойчивость, балл		Наличие <i>mlo11</i>
				взрослые растения	всходы	
27038	Московский 2	РФ, Московская обл.	<i>nutans</i>	7	3	–
30591	Рахат	«	«	7	2	–
30844	Хаджибей	РФ, Белгородская обл.	«	7	2	–
31289	Краснояржский 6	«	<i>pallidum</i>	5	2	–
31291	Осколец	«	<i>nutans</i>	7	4	–
30847	Ясный	РФ, Ростовская обл.	«	7	3	–
30958	Тонус	«	«	7	2	–
31301	Новик	«	<i>ricotense</i>	7	2	–
30983	Вакула	РФ, Ставропольский край	<i>pallidum</i>	5	2	–
31045	Прикумский 47	«	<i>nutans</i>	7	4	–
31134	Странник	«	«	7	4	–
29914	Гонар	Беларусь	«	5	2	–
31122	Поспех	«	«	7	3	–
31173	Талер	«	<i>ricotense</i>	7	1	–
29010	Одесский 115	Украина	<i>nutans</i>	7	3	–

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

№ по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Разновидность	Устойчивость, балл		Наличие <i>mlo11</i>
				взрослые растения	всходы	
31062	Персей	«	«	7	1, 3	–
31097	Южанин	«	«	7	4	–
31169	Эвергрин	Дания	«	7	0	+
31241	Quench	«	«	7	1	+
31297	Cheerio	«	«	7	0	–
31323	Katy	«	«	7	2	+
31247	Tipple	Великобритания	«	7	2	–
31305	Overture	«	«	7	2	+
31333	Одиссей	«	«	7	2	+
29669	Maresi	Германия	«	7	3	–
30889	Danuta	«	<i>deficiense</i>	7	1	+
30967	Messina	«	<i>nutans</i>	7	3	–
30973	Xanadu	«	«	7	0	+
31038	Жозефин	«	«	7	1	+
31132	Деспина	«	<i>deficiense</i>	7	1	–
31170	Калькюль	«	<i>nutans</i>	7	4	–
31192	Jenuva	«	«	7	1	+
31193	Issota	«	«	7	1	+
31242	JB Flavour	«	«	7	0	–
31245	Posada	«	«	7	1	+
30857	Astoria	Франция	«	7	4	–
31191	2033E	«	<i>deficiense</i>	7	0	–
31249	Eifel	«	<i>nutans</i>	7	0	+
31250	Pionier	«	«	7	1, 3	–
31271	Zhana	«	«	9	0	+
31332	Солист	«	«	9	1	+
22089	Белогорский (контроль)	РФ, Ленинградская обл.	<i>pallidum</i>	3	4	–

Носителями аллеля *mlo11*, обеспечивающего стабильную длительную защиту ячменя от *B. graminis*, являются 14 сортов ячменя из четырех европейских стран (Германия, Франция, Дания, Англия) (см. табл. 2, рисунок). Уровень устойчивости сортов с геном *mlo11* различен (0–2 балла в лаборатории); причиной этого может являться экспрессия других генов устойчивости, а также наличие разных аллельных вариантов *mlo11*.

Лишь четыре сорта российской селекции (к-30591, к-30844, к-30958, к-31301) устойчивы к *B. graminis* в лаборатории и поле. Образцы к-27038, к-30847, к-31045,

к-31134, к-31291 слабо поражались патогеном только в поле, два сорта (к-30983, к-31289) характеризовались умеренной устойчивостью (2 балла) в ювенильной фазе (см. табл. 2). Большинство (94%) отечественных сортов сильно поражались грибом. Районированный в Северо-Западном регионе сорт 'Белогорский' восприимчив к *B. graminis*.

Скрининг по устойчивости сортов к возбудителю карликовой ржавчины проводили в полевых условиях. В 2019 г. наблюдали высокий уровень развития болезни: поражение сорта 'Белогорский' составляло 3 балла. При естественной эпифитотии устойчивыми к *P. hordei* оказа-

Рисунок. Продукты амплификации ДНК с использованием праймеров ADUP7-Mlo6 (A) и Mlo6-Mlo10 (B): сорта ячменя к-31169 (1), к-31191 (2), к-31247 (3), к-30591 (4), к-30844 (5), к-30981 (6), к-31038 (7), к-31241 (8), к-31245 (9), к-31249 (10), к-31271 (11), к-31289 (12), к-31301 (13), к-29914 (14), к-30973 (15), к-30983 (16), к-31323 (17), к-31332 (18)

Figure. DNA amplification products using primers ADUP7-Mlo6 (A) and Mlo6-Mlo10 (B): barley cultivars k-31169 (1), k-31191 (2), k-31247 (3), k-30591 (4), k-30844 (5), k-30981 (6), k-31038 (7), k-31241 (8), k-31245 (9), k-31249 (10), k-31271 (11), k-31289 (12), k-31301 (13), k-29914 (14), k-30973 (15), k-30983 (16), k-31323 (17), k-31332 (18)

лись два немецких сорта: 'Jenuva' (к-31192) и 'JB Flavour' (к-31242), которые также высокоустойчивы к мучнистой росе. Сорт ячменя 'Jenuva' (к-31192, Германия) является носителем аллеля *mlo11* (см. табл. 2).

При искусственном заселении сортов ячменя краснодарской популяцией обыкновенной злаковой тли резистентный (повреждение растений 3–4 балла) оказался сорт 'ST-134' (к-30553, США). Гетерогенны по устойчивости 55 изученных форм. Поврежденность отдельных растений 10 сортов составляла не более четырех

баллов (табл. 3), у 45 сортов варьировала в пределах 5–8 баллов. Выделившиеся по устойчивости к *S. graminum* образцы к-30958, к-30967, к-31169 и к-31193 характеризуются также резистентностью к мучнистой росе.

Допущенные к использованию на территории РФ сорта ячменя обладают различным уровнем устойчивости к токсичным ионам алюминия, причем диапазон изменчивости признака довольно велик. Индекс длины корней варьировал в пределах от 0,2 до 0,98. Среди

Таблица 3. Сорта ячменя, выделившиеся по устойчивости к обыкновенной злаковой тле

Table 3. Barley cultivars with resistance to greenbug

№ по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Оценено растений	Распределение растений по баллам поврежденности, %		
				1–4	5–8	9, 10
30804	Лель	РФ, Кировская обл.	15	13,3	20,0	66,7
30958	Тонус	РФ, Ростовская обл.	41	4,9	29,3	65,8
30957	Натали	РФ, Оренбургская обл.	37	2,7	10,8	88,5
27102	Красноярский 80	РФ, Красноярский край	30	3,3	–	96,7
30968	Муссон	РФ, Приморский край	22	4,6	13,6	81,8
31171	Липень	Беларусь	33	6,1	15,1	78,8
31169	Эвергрин	Дания	16	6,3	31,2	62,5
29965	Zest	Великобритания	41	12,2	53,7	34,1
30967	Messina	Германия	17	29,4	11,8	58,8
31193	Issota	«	22	13,6	27,3	59,1
30553	ST-134	США	19	100,0	–	–
22089	Белогорский (контроль)	РФ, Ленинградская обл.	182	–	–	100

отечественных и зарубежных сортов выделено 4 неустойчивых к стрессу сорта (2,8% от числа изученных), 31 образец характеризовался высокой устойчивостью к токсичным ионам алюминия (21,7%). Самые высокие корневые индексы характерны для сортов 'Нур' (к-30820) и 'Вакула' (к-30983) отечественной селекции, которые рекомендуются для возделывания в Северо-Западном, Центральном, Волго-Вятском и Средневолжском регионах. Образцы, неустойчивые по индексу длины ростка, нами не выявлены: все изученные сорта относятся к устойчивым и высокоустойчивым формам.

Высокая устойчивость по индексу длины корня и ростка отмечена у 26 сортов ячменя, из них 8 сортов – зарубежной селекции. Все они отнесены к первой группе устойчивости (табл. 4). У российских сортов из Приморского края 'Муссон' (к-30968) и 'Приморский 98' (к-30778) отмечены самые высокие индексы длины корней и ростка. Среди сортов зарубежной селекции наиболее устойчивы к токсичным ионам алюминия образцы 'Quench' (к-31241, Дания) и 'Xanadu' (к-30973, Германия), которые несут также аллель *mlo11*, обеспечивающий длительную устойчивость к мучнистой росе.

Таблица 4. Сорта ячменя, выделившиеся по устойчивости к токсичным ионам алюминия

Table 4. Barley cultivars with resistance to toxic aluminum ions

№ по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Разновидность	Индекс длины	
				корня	ростка
30592	Раушан	РФ, Московская обл.	<i>nutans</i>	0,85	0,90
30981	Владимир	«	«	0,88	0,91
30804	Лель	РФ, Кировская обл.	<i>pallidum</i>	0,89	0,89
30806	Новичок	«	<i>nutans</i>	0,81	0,90
30883	Тандем	«	«	0,91	0,98
30971	Беркут	РФ, Самарская обл.	<i>medicum</i>	0,92	0,92
31302	Батик	«	<i>nutans</i>	0,83	0,94
30452	Задонский 8	РФ, Ростовская обл.	<i>medicum</i>	0,82	0,87
30881	Рубикон	РФ, Краснодарский край	<i>nutans</i>	0,88	0,97
30983	Вакула	РФ, Ставропольский край	<i>pallidum</i>	0,95	0,98
30990	Т 12	РФ, Оренбургская обл.	<i>nutans</i>	0,86	0,92
30919	Омский голозерный	РФ, Омская обл.	<i>nudum</i>	0,87	0,88
30977	Омский 96	«	<i>nutans</i>	0,83	0,90
27102	Красноярский 80	РФ, Красноярский край	«	0,82	0,94
31198	Буян	«	«	0,81	0,97
31118	Одон	РФ, Бурятия	«	0,85	0,90
30778	Приморский 98	РФ, Приморский край	<i>medicum</i>	0,98	0,94
30968	Муссон	«	<i>nutans</i>	0,96	0,93
31173	Талер	Беларусь	<i>ricotense</i>	0,81	0,99
30965	Гетьман	Украина	<i>medicum</i>	0,84	0,93
31094	Бадьорий	«	<i>nutans</i>	0,81	0,82
30884	Илек 9	Казахстан	<i>medicum</i>	0,83	0,97
30978	Илек 16	«	<i>nutans</i>	0,83	0,98
31241	Quench	Дания	<i>nutans</i>	0,95	0,92
30973	Xanadu	Германия	<i>deficiense</i>	0,93	0,91
31044	Марни	«	<i>nutans</i>	0,92	0,92

Заключение

Наши эксперименты показали, что сорта ячменя, допущенные к использованию на территории России, неоднородны по устойчивости к *B. graminis*, *P. hordei*, *S. graminum* и токсичным ионам алюминия. Изученная коллекция характеризуется достаточно высокой частотой форм (16,5%), защищенных не только геном *mlo11*, но и другими эффективными генами устойчивости к мучнистой росе. В то же время сорта российской селекции в подавляющем большинстве (94%) восприимчивы к *B. graminis*. Два немецких сорта 'Jenuva' (к-31192) и 'JB Flavour' (к-31242) слабо поражаются возбудителем карликовой ржавчины. Лишь один сорт ('ST-134', к-30553, США) оказался устойчивым к краснодарской популяции *S. graminum*. В группу высокоустойчивых к негативному действию алюминия по индексу длины корня и роста вошли 10,7% сортов отечественной и 10% зарубежной селекции. Комплексной устойчивостью к мучнистой росе и токсичным ионам алюминия характеризуются сорта отечественной селекции: 'Рахат' (к-30591), 'Тонус' (к-30958), 'Новик' (к-31301); к мучнистой росе и обыкновенной злаковой тле – четыре сорта. Два образца обладают комплексной устойчивостью к вредным организмам и токсичным ионам алюминия: 'Xanadu' (к-30973) и 'Messina' (к-30967). Выделившиеся сорта ячменя рекомендованы для выращивания в различных регионах страны, обладают широким спектром изменчивости признаков и могут использоваться как доноры устойчивости в селекции.

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» и при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-016-00048).

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", and supported by the Russian Foundation for Fundamental Research (Project No. 20-016-00048).

Reference/Литература

Anisimova I.N., Alpatieva N.V., Abdullaev R.A., Karabitsina Yu.I., Kuznetsova E.B. Screening of plant genetic resources with the use of DNA markers: basic principles, DNA isolation, PCR setup, agarose gel electrophoresis: (guidelines). E.E. Radchenko (ed.). St. Petersburg: VIR; 2018. [in Russian] (Анисимова И.Н., Алпатьева Н.В., Абдуллаев Р.А., Карабицина Ю.И., Кузнецова Е.Б. Скрининг генетических ресурсов растений с использованием ДНК-маркеров: основные принципы, выделение ДНК, постановка ПЦР, электрофорез в агарозном геле: (методические указания) / под ред. Е.Е. Радченко. Санкт-Петербург: ВИР; 2018). DOI: 10.30901/978-5-905954-81-8

Bian M., Jin X., Broughton S., Zhang X.Q., Zhou G., Zhou M., Zhang G., Sun D., Li C. A new allele of acid soil tolerance gene from a malting barley variety. *BMC Genetics*. 2015;16:92. DOI: 10.1186/s12863-015-0254-4

Dorokhov D.B., Klocke E. A rapid and economic technique for RAPD analysis of plant genomes. *Russian Journal of Genetics*. 1997;33(4):358-365.

Dreiseitl A. Genes for resistance to powdery mildew in European barley cultivars registered in the Czech Republic from 2011 to 2015. *Plant Breeding*. 2017;136(3): 351-356. DOI: 10.1111/pbr.12471

Jørgensen J.H., Wolfe M. Genetics of powdery mildew resistance in barley. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 1994;13(1):97-119. DOI: 10.1080/07352689409701910

Kavanagh P.J., Singh D., Bansal U.K., Park R.F. Inheritance and characterization of the new and rare gene *Rph25* conferring seedling resistance in *Hordeum vulgare* against *Puccinia hordei*. *Plant Breeding*. 2017;136(6):908-912. DOI: 10.1111/pbr.12535

Kusch S., Panstruga R. *mlo*-based resistance: An apparently universal "weapon" to defeat powdery mildew disease. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2017;30(3):179-189. DOI: 10.1094/MPMI-12-16-0255-CR

Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Methodological guidelines for studying and maintaining the global collection of barley and oat (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoy kolekcii yachmenya i ovsa). St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).

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

Minella E., Sorrells M.E. Inheritance and chromosome location of *Alp*, a gene controlling aluminum tolerance in 'Dayton' barley. *Plant Breeding*. 1997;116(5):465-469. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1997.tb01032.x

Navakode S., Weidner A., Varshney R.K., Lohwasser U., Scholz U., Börner A. A QTL analysis of aluminium tolerance in barley, using gene-based markers. *Cereal Research Communications*. 2009;37:531-540. DOI: 10.1556/CRC.37.2009.4.6

Panda S.K., Baluška F., Matsumoto H. Aluminum stress signaling in plants. *Plant Signaling and Behavior*. 2009;4(7):592-597. DOI: 10.4161/psb.4.7.8903

Park R.F., Golegaonkar P.G., Derevnina L., Sandhu K.S., Karaoglu H., Elmansour H.M. et al. Leaf rust of cultivated barley: pathology and control. *Annual Review of Phytopathology*. 2015;53:565-589. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080614-120324

Porter D.R., Burd J.D., Mornhinweg D.W. Differentiating greenbug resistance genes in barley. *Euphytica*. 2007;153(1-2):11-14. DOI: 10.1007/s10681-006-9193-5

Piffanelli P., Ramsay L., Waugh R., Benabdelmouna A., D'Hont A., Hollricher K. et al. A barley cultivation-associated polymorphism conveys resistance to powdery mildew. *Nature*. 2004;430(7002):887-891. DOI: 10.1038/nature02781

Radchenko E.E. Cereal aphids (Zlakovye tli). In: *The study of the genetic resources of cereal crops for resistance to harmful organisms. Guidelines (Izucheniye geneticheskikh resursov zernovykh kultur po ustoychivosti k vrednym organizmam. Metodicheskoye posobiye)*. Moscow: Rosselkhozakademiya; 2008. p.214-257 [in Russian] (Радченко Е.Е. Злаковые

- тли. В кн.: *Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. Методическое пособие*. Москва: Россельхозакадемия; 2008. С.214-257).
- Reinstädler A., Müller J., Jerzy H., Czembor J.H., Piffanelli P., Panstruga R. Novel induced *mlo* mutant alleles in combination with site-directed mutagenesis reveal functionally important domains in the heptahelical barley *Mlo* protein. *BMC Plant Biology*. 2010;10(1):31. DOI: 10.1186/1471-2229-10-31
- Rigin B.V., Yakovleva O.V. Genetic analysis of toxic ion tolerance in barley. *Russian Journal of Genetics*. 2006;42(3):301-305.
- Schweissing F.C., Wilde G. Temperature and plant nutrient effects on resistance of seedling sorghum to the greenbug. *Journal Economic Entomology*. 1979;72(1):20-23. DOI: 10.1093/jee/72.1.20
- Seeholzer S. Isolation and characterization of new R-protein variants encoded at the barley *Mla* locus that specify resistance against the fungus powdery mildew. University of Zurich, Faculty of Science; 2009. DOI: 10.5167/uzh-31283
- Wang J.P., Raman H., Zhang G.P., Mendham N., Zhou M.X. Aluminium tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.): physiological mechanisms, genetics and screening methods. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*. 2006;7(10):769-787. DOI: 10.1631/jzus.2006.B0769
- Wu L., Yu J., Shen Q., Huang L., Dezh W., Zhang G. Identification of microRNAs in response to aluminum stress in the roots of Tibetan wild barley and cultivated barley. *BMC Genomics*. 2018;19:560. DOI: 10.1186/s12864-018-4953-x
- Yakovleva O.V. Phytotoxicity of aluminum ions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):315-331. [in Russian] (Яковлева О.В. Фитотоксичность ионов алюминия. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(3):315-331). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-315-331
- Yakovleva O.V., Kapeshinsky A.M., Kovaleva O.N. Aluminium toxic ions tolerance in cultivated and wild barley. *Bulletin 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 accessions for resistance to toxic aluminum ions (H^+ + Al^{3+}) (Yachmen. Kharakteristika obraztsov yachmenya po ustoychivosti k toksichnym ionam alyuminiya [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).
- Yu X., Kong H.Y., Meiyalaghan V., Casonato S., Chng S., Jones E.E. et al. Genetic mapping of a barley leaf rust resistance gene *Rph26* introgressed from *Hordeum bulbosum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018;131:2567-2580. DOI: 10.1007/s00122-018-3173-8

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

Абдуллаев Р.А., Баташева Б.А., Алпатьева Н.В., Чумаков М.А., Радченко Е.Е., Ковалева О.Н., Яковлева О.В. Устойчивость допущенных к использованию в России сортов ячменя к вредным организмам и токсичным ионам алюминия. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(3):120-127. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-120-127

Abdullaev R.A., Batasheva B.A., Alpatieva N.V., Chumakov M.A., Radchenko E.E., Kovaleva O.N., Yakovleva O.V. Resistance of barley cultivars approved for use in Russia to harmful organisms and toxic aluminum ions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(3):120-127. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-120-127

ORCID

Abdullaev R.A. <https://orcid.org/0000-0003-1021-7951>
Batasheva B.A. <https://orcid.org/0000-0002-2266-281X>
Alpatieva N.V. <https://orcid.org/0000-0002-5531-2728>
Chumakov M.A. <https://orcid.org/0000-0001-6995-1742>
Radchenko E.E. <https://orcid.org/0000-0002-3019-0306>
Kovaleva O.N. <https://orcid.org/0000-0002-3990-6526>
Yakovleva O.V. <https://orcid.org/0000-0002-6537-0868>

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/10.30901/2227-8834-2020-3-120-127>

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