

# СКРИНИНГ РЕЗИСТЕНТНЫХ К МУЧНИСТОЙ РОСЕ ОБРАЗЦОВ ЯЧМЕНЯ ИЗ ЭФИОПИИ ПО УСТОЙЧИВОСТИ К АБИОТИЧЕСКИМ СТРЕССОРАМ


DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-152-158

УДК 633.16: 58.051

Поступление/Received: 12.10.2019

Принято/Accepted: 29.11.2019


Р. А. АБДУЛЛАЕВ<sup>1</sup>, О. В. ЯКОВЛЕВА<sup>1</sup>, И. А. КОСАРЕВА<sup>1</sup>,  
Е. Е. РАДЧЕНКО<sup>1</sup>, Б. А. БАТАШЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических ресурсов  
растений имени Н.И. Вавилова (ВИР),  
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44;  
 [abdullaev.1988@list.ru](mailto:abdullaev.1988@list.ru)

<sup>2</sup> Дагестанская опытная станция – филиал ВИР,  
Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических ресурсов  
растений имени Н.И. Вавилова (ВИР),  
368612 Россия, Республика Дагестан, Дербентский район,  
с. Вавилово

SCREENING OF POWDERY MILDEW RESISTANT  
BARLEY ACCESSIONS FROM ETHIOPIA  
FOR TOLERANCE TO ABIOTIC STRESSORS

R. A. ABDULLAEV<sup>1</sup>, O. V. YAKOVLEVA<sup>1</sup>, I. A. KOSAREVA<sup>1</sup>,  
E. E. RADCHENKO<sup>1</sup>, B. A. BATASHEVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute  
of Plant Genetic Resources (VIR),  
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,  
St. Petersburg 190000, Russia;  
 [abdullaev.1988@list.ru](mailto:abdullaev.1988@list.ru)

<sup>2</sup> Dagestan Experiment Station of VIR,  
N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR),  
Vavilovo Village, Derbentsky District,  
Republic of Dagestan 368612, Russia

**Актуальность.** Анализ адаптивного потенциала культивируемого ячменя с целью использования выделенных и созданных в процессе работы новых генотипов является приоритетным научным направлением. Многими ценными биологическими и агрономическими качествами характеризуются ячмени Эфиопии, адаптированные к разнообразным почвенно-климатическим условиям. Особую ценность имеют генотипы, сочетающие устойчивость к вредным организмам и стрессорным факторам среды. **Материалы и методы.** Исследовали устойчивость к неблагоприятным эдафическим факторам (хлоридное засоление, высокое содержание в почве токсичных ионов алюминия) коллекции образцов ячменя из Эфиопии, характеризующихся резистентностью к мучнистой росе. Устойчивость к абиотическим стрессорам оценивали в лабораторных экспериментах. При изучении солеустойчивости использовали рулонный метод оценки, основанный на учете торможения роста корней в условиях солевого (NaCl) стресса в сравнении с контрольными условиями, без засоления. Диагностику алюминочувствительности образцов ячменя проводили на ранних этапах развития растений с использованием корневого теста. **Результаты и выводы.** Выявлен полиморфизм ячменей Эфиопии по устойчивости к неблагоприятным эдафическим факторам. Выделен 21 новый источник устойчивости ячменя к действию токсичных ионов алюминия, из них образцы к-8552 и к-22933 отнесены к группе высокоустойчивых. Образцы к-17554, к-19975, к-20029, к-20048, к-22752, к-23450, к-25009 устойчивы к засолению почвы. Комплексной устойчивостью к мучнистой росе, токсичным ионам алюминия и хлоридному засолению почвы характеризуются образцы ячменя к-17554, к-22752 и к-25009.

**Ключевые слова:** *Hordeum vulgare*, *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*, хлоридное засоление, токсичные ионы алюминия.

**Background.** Analyzing the adaptive potential of cultivated barley with the aim of using new genotypes selected and developed in the process of work is a priority trend in scientific research. The Ethiopian barleys adapted to a variety of soil and climate conditions are characterized by many valuable biological and agronomic traits. Of particular value are genotypes that combine resistance to harmful organisms and environmental stressors. **Materials and methods.** The collection accessions of Ethiopian barley possessing powdery mildew resistance were studied for tolerance to adverse edaphic factors (chloride salinity and high content of toxic aluminum ions in the soil). Resistance to abiotic stressors was assessed in laboratory experiments. In the study of salt tolerance, a 'roll-based' assessment technique was used, which takes into account the inhibition of root growth under salt (NaCl) stress conditions, compared with the reference conditions without salinization. Aluminum sensitivity of barley accessions was diagnosed in the early stages of plant development using the root test. **Results and conclusions.** A polymorphism of Ethiopian barleys for resistance to adverse edaphic factors was revealed. Twenty-one new sources of barley resistance to toxic aluminum ions were identified, of which accessions k-8552 and k-22933 were classified as highly resistant. Accessions k-17554, k-19975, k-20029, k-20048, k-22752, k-23450 and k-25009 proved resistant to soil salinization. Barley accessions k-17554, k-22752 and k-25009 were characterized by complex resistance to powdery mildew, toxic aluminum ions, and chloride soil salinity.

**Key words:** *Hordeum vulgare*, *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*, chloride salinity, toxic aluminum ions.

## Введение

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) занимает одно из ведущих мест в сельскохозяйственном производстве России. Урожай ячменя существенно лимитируют неблагоприятные почвенно-климатические условия. Общая площадь засоленных земель в РФ составляет около 40 млн га (21% общей площади орошаемых земель) (Pankova et al., 2006). Они широко распространены на юго-востоке европейской части России, особенно в Среднем и Южном Поволжье, в Северо-Восточном Предкавказье, на юге Западной и Восточной Сибири, в Якутии. Избыточное скопление солей в корнеобитаемом слое угнетает или губит сельскохозяйственные растения, снижает урожай и его качество, что определяет необходимость поиска форм ячменя, способных давать удовлетворительный урожай в условиях солевого стресса.

Причиной угнетения растений является накопление солей и вызываемое этим повышение осмотического давления в клетке, изменение водного режима, снижение общего содержания свободных радикалов. По мнению ряда авторов, в основе повреждения и гибели растений от высоких концентраций солей в корнеобитаемой зоне лежит не столько затруднение поступления воды, сколько вызываемые поступившими в них ионами необратимые нарушения в обмене веществ (Stroganov et al., 1970; Lapina et al., 1980).

По степени засоления различают незасоленные, слабозасоленные, средне засоленные почвы и солончаки. Засоление связано с наличием в корнеобитаемом слое почвы большого количества солей, преимущественно натриевых. Засоленные почвы встречаются в сухих южных и юго-восточных районах, на берегах морей, солевых озерах, источниках.

Среди известных трех типов засоления (сульфатное, карбонатное, хлоридное) наиболее токсичным для растений является хлоридное, вызывающее сильное угнетение ростовых процессов, а иногда и гибель растений. Устойчивость растений к высокому содержанию солей в почве изменяется в течение всего вегетационного периода. На ранних стадиях развития они более чувствительны к высокой концентрации солей. Выявлена корреляция между уровнем устойчивости и общей интенсивностью ростовых процессов (Udovenko, 1975).

Устойчивость растений к засолению рассматривается, прежде всего, как количественный признак, подверженный существенному влиянию условий среды (Winicov, 1998). В то же время показано, что различия между сортами ячменя по солеустойчивости могут контролироваться двумя-тремя ядерными генами (Koval, Rigin, 1993).

В настоящее время одним из основных подходов для определения геномных областей, контролирующих различные ценные признаки, является картирование локусов количественных признаков (QTL) (Gyenis et al., 2007). С использованием дигиплоидных популяций Steptoe/Morex и Harrington/TR306 идентифицировали QTL, обуславливающие устойчивость к стрессору при прорастании, в хромосомах 4(4H), 6(6H), 7(5H) (линии Steptoe/Morex), а также 5(1H) и 7(5H) (линии Harrington/TR306). В фазе всходов устойчивость контролируют QTL в хромосомах 2(2H), 5(1H), 6(6H), 7(5H) (Steptoe/Morex) и 7(5H) – у линий Harrington/TR 306. Устойчивость при прорастании семян и в фазе всходов контролируют разные локусы (Mano, Takeda, 1997). С использованием 192 сортов различного происхождения при помощи SNP-маркеров

идентифицировали QTL, связанные с солеустойчивостью. Помимо множества QTL, выявили 2 локуса с выраженным фенотипическим эффектом в хромосомах 4H и 6H (Long et al., 2013).

Сведения о генетическом контроле признака у взрослых растений скудны. R. P. Ellis et al. (2002), используя гидропонную культуру, при искусственном засолении детектировали 12 QTL, детерминирующих устойчивость в фазе всходов, а также 4 QTL, контролирующих урожайность и содержание азота в зерне.

В России находятся самые большие в мире площади почв с избыточной кислотностью. По результатам агрохимических обследований пахотных земель, площадь кислых почв (pH меньше 5,5) в настоящее время составляет около 65 млн га. В ряде субъектов РФ удельная площадь кислых почв превышает 50–70%. Потери сельскохозяйственной продукции в пересчете на зерно в год составляют 15–20 млн т. При сохранении объемов известкования на нынешнем уровне неизбежно дальнейшее ухудшение плодородия почв, снижение эффективности применения минеральных удобрений и снижение производства сельскохозяйственной продукции (Yakovleva, 2018).

Токсичность ионов алюминия – главный фактор, ограничивающий рост растений на кислых почвах. Высокие концентрации алюминия непосредственно или косвенно влияют на жизнедеятельность растений. Вредное действие алюминия на растения зависит от концентрации активных форм, находящихся в почвенном растворе. Наиболее высокая токсичность алюминия проявляется при pH ниже 4. Концентрации алюминия, превышающие 1 мг/л воды, оказывают вредное воздействие на рост и развитие сельскохозяйственных культур. При концентрации подвижного алюминия от 2 до 5 мг/100 г почвы наблюдается угнетение роста, происходит деформация органов растений. Снижение урожайности и частичная гибель растений отмечается при концентрации 10 мг/100 г почвы (Yakovleva, 2018).

Установлено, что растения способны ослаблять или устранять вредные эффекты от действия алюминия. У многих видов растений устойчивость к токсичным концентрациям ионов металлов является одновременно действием нескольких механизмов, которые характерны для каждого из видов. Показано, что рост корня – лучший индикатор устойчивости в сравнении с ростом наземной части (McLean, Gilbert, 1927; Klimashevskiy, 1995). Растворимость многочисленных металлов и алюминия зависит от уровня pH почвы. Растения, способные поддерживать высокий уровень pH в ризосфере, различаются по устойчивости к высоким концентрациям токсичных ионов. Сообщается о положительной корреляции между алюмоустойчивостью ячменя и увеличением pH в зоне корней (Wagatsuma, Yamasaku, 1985).

В последнее время появляются исследования, свидетельствующие о том, что алюминий может индуцировать активность транспортных белков, а также изменять мембранный потенциал и протонный ток, способствующие переносу питательных веществ в растениях (Bose et al., 2011; Bose et al., 2013).

При содержании в питательной среде в больших количествах алюминий быстро поглощается корнями и локализуется в оболочках клеток. В результате этого тормозится рост корневой системы, корни утолщаются, приобретают темную окраску, снижаются их длина и масса, уменьшаются ветвление и количество корневых волосков (Kopittke et al., 2015). Рост корней затруднен в результате снижения митотической активности клеток.

Высокие концентрации алюминия неблагоприятно влияют и на надземную часть растения: вызывают снижение длины стебля и замедление его роста, сокращение длины междоузлий, развитие боковых побегов, уменьшение размеров листа, хлорозные пятна, некрозы (Yakovleva, Kapeshinskiy, 2011).

Большинство авторов относят ячмень к культурам, наиболее чувствительным к избыточной почвенной кислотности (Meshcheryakov, 1937; Foy, 1965; Clarkson, 1966). Отмечено, что устойчивые сорта происходят из регионов с кислыми почвами.

Генетика устойчивости к токсичным ионам алюминия изучена для ограниченного числа видов – в основном представляющих агрономический интерес. Исследования указывают, что алюмотолерантность ячменя может обуславливаться различным числом генов, от одного до нескольких доминантных генов, либо единичными доминантными генами, имеющими множественные аллели (Ried, 1979; Tang et al., 2000; Echart et al., 2002; Rigin, Yakovleva, 2006). Результаты некоторых исследований демонстрируют простой тип наследования признака, однако экспрессия устойчивости зависит от концентрации алюминия и дозы аллеля (Minella, Sorrells, 1997).

Площади территорий, подвергнутых эрозии почв, увеличиваются с каждым днем; актуальной задачей современной селекции является создание и внедрение в производство новых урожайных сортов ячменя с высокой адаптивностью к неблагоприятным факторам окружающей среды. Цель настоящего исследования – оценить устойчивость к хлоридному засолению и токсичным ионам алюминия образцов ячменя из Эфиопии, которые характеризовались резистентностью к мучнистой росе в наших экспериментах (Alpatyeva et al., 2016; Abdullaev et al., 2019).

### Материалы и методы

Исследовали чувствительность к хлоридному засолению почвы и токсичным ионам алюминия 51 образца ячменя из Эфиопии, выделившихся по устойчивости к северо-западной популяции возбудителя мучнистой росы *Blumeria graminis* (DC.) Golovin ex Speer f. sp. *hordei* Marchal (Alpatyeva et al., 2016; Abdullaev et al., 2019).

При изучении солеустойчивости 39 образцов ячменя использовали рулонный метод оценки (Udovenko, Volkova, 1993), основанный на учете торможения роста корней в условиях солевого (NaCl) стресса в сравнении с контрольными условиями, без засоления. Семена изучаемых образцов замачивали в воде, и на третьи сутки одинаково развитые проростки раскладывали на листы фильтровальной бумаги, смоченные дистиллированной водой или раствором NaCl. Бумагу с проростками сворачивали в рулоны и помещали в сосуды с водой или раствором соли. Использовали два фона засоления – 0,7 и 0,9 мПа осмотического давления (соответственно 0,98% и 1,26% NaCl). На каждый образец заготавливали по шесть рулонов: два рулона помещали в дистиллированную воду (контроль), два – в раствор соли 0,7 мПа и два рулона – в раствор 0,9 мПа. Сосуды с рулонами помещали в термостат с температурой 22°C. На пятые сутки рулоны разворачивали и измеряли длину самого длинного корешка у каждого растения. Рассчитывали степень снижения среднего значения длины корешков в растворе соли по отношению к контролю.

Проанализированные образцы разделили на три группы: устойчивые, среднеустойчивые и чувствитель-

ные (Davydova et al., 1991). В первую группу вошли образцы, у которых длина корешков в растворе соли 0,9 мПа осмотического давления составляла > 60% по отношению к контролю, а в растворе 0,7 мПа – > 70%. Ко второй группе отнесли образцы с длиной корешков 40–60% в растворе соли 0,9 мПа, а при засолении 0,7 мПа осмотического давления – 50–70%. В остальных случаях образец относили к третьей группе. В качестве стандартов использовали сорта 'Краснодарский 35' (к-19928) и 'Одесский 70' (к-22024), отличающиеся высоким уровнем устойчивости к засолению (Semushina, 1980).

Диагностику алюмоустойчивости 43 образцов культурного ячменя проводили на ранних этапах развития растений с использованием корневого теста (Yakovleva et al., 2009; Yakovleva, Kovaleva, 2015). Длину зародышевых корней семидневных проростков, выращенных в растворе с содержанием 185 мкМ ионов алюминия (рН = 4,0), соотносили с длиной зародышевых корней растений (определяли индекс длины корня – ИДК), выращенных в растворе без добавления солей алюминия (рН = 6,5). При этом в каждую растительную экспериментальную материал закладывали сорт-тестер 'Полярный 14' (к-15619) с известным уровнем устойчивости (Gruzdeva et al., 1999). Использовали также дополнительный тестовый признак – индекс длины ростка. Длину ростка и зародышевого корня измеряли одновременно. По степени устойчивости ячмени распределили на 5 групп (Yakovleva, Kovaleva, 2015):

- 1 группа – высокоустойчивые (ИДК > 0,81);
- 2 группа – устойчивые (ИДК 0,61–0,80);
- 3 группа – среднеустойчивые (ИДК 0,41–0,60);
- 4 группа – средне чувствительные (ИДК 0,31–0,40);
- 5 группа – неустойчивые (ИДК < 0,30).

### Результаты и обсуждение

Устойчивыми к хлоридному засолению при 0,9 мПа осмотического давления оказались 15 образцов ячменя (таблица), 22 формы (56,4%) проявили себя как среднеустойчивые. В растворе соли с давлением 0,7 мПа в группу устойчивых вошли 8 изученных форм (см. таблицу), 28 образцов (71,8%) оказались среднеустойчивыми.

Ранее была показана средняя существенная связь ( $r = 0,49$ ) между показателями солеустойчивости дагестанских ячменей при различных концентрациях NaCl (0,7 и 0,9 мПа) (Abdullaev et al., 2015). Коррелятивная связь показателей солеустойчивости ячменей из Эфиопии на двух фонах засоления оказалась сильной ( $r = 0,722$ ). Образцы к-17554, к-19975, к-20029, к-20048, к-22752, к-23450, к-25009 устойчивы при 0,7 и 0,9 мПа осмотического давления. Ранее В. С. Коваль (Koval, Rigin, 1993) выявил слабую корреляцию солеустойчивости коллекционных форм ячменя при использовании растворов хлорида натрия с осмотическим давлением 0,7 и 0,9 мПа, то есть устойчивость к различным уровням засоления могут контролировать разные генетические системы.

В результате оценки устойчивости к токсичным ионам алюминия образцы распределились следующим образом. По индексу длины корня образцы к-8552 (ИДК 0,82) и к-22933 (ИДК 0,88) отнесены к группе высокоустойчивых, образец к-20097 (ИДК 0,38) оказался средне чувствительным, неустойчив образец к-20135 (ИДК 0,29). Большая часть изученных форм ячменя отнесена к среднеустойчивым и устойчивым: 46,5% и 44,2% соответственно (см. таблицу).

Таблица. Чувствительность ячменей из Эфиопии к абиотическим стрессорам

Table. Sensitivity of Ethiopian barleys to abiotic stressors

№ по каталогу ВИР	Образец	Разновидность	NaCl, длина корешка по отношению к контролю, %		Al <sup>3+</sup> , индекс длины	
			0,7 мПа	0,9 мПа	ростка	корня
3454	Местный	<i>pallidum</i>	64	72	-	-
5448	Абун 8	<i>duplinigrum</i>	69	54	0,99	0,55
8547	Местный	<i>nigripallidum, nigricans</i>	53	64	0,87	0,48
8552	«	<i>steudelii, nutans</i>	69	84	0,98	0,82
17554	Ер-80 Abissinien	<i>dupliatrum</i>	71	71	0,98	0,76
19975	Линия АНОР 1635/66	<i>deficiens, pallidum</i>	91	104	0,72	0,43
20029	Л. АНОР 2543/63	<i>nudideficiens</i>	85	82	0,95	0,54
20040	Л. АНОР 2551/63	<i>nigrinudum</i>	59	63	0,97	0,70
20041	Л. АНОР 4256/63	<i>nigrinudum</i>	67	63	0,90	0,69
20048	Л. АНОР 3537/63	<i>dupliatrum</i>	80	66	0,98	0,52
20064	Линия АНОР 2574/65	<i>nigripallidum, pallidum</i>	-	-	0,96	0,74
20067	Линия АНОР 3071/66	<i>nigripallidum</i>	53	38	-	-
20077	Линия АНОР 2556/63	<i>dupliatrum</i>	68	63	0,96	0,59
20081	Линия АНОР 4259/63	<i>nigrinudum, duplinigrum, nudimelanocrithum</i>	70	58	0,88	0,73
20083	Линия АНОР 3210/66	<i>duplinigrum, tibetanum</i>	53	55	-	-
20087	Линия АНОР 1501/65	<i>nigripallidum</i>	-	-	0,86	0,43
20091	Линия АНОР 1428/66	<i>steudelii</i>	61	46	0,91	0,41
20097	Линия АНОР 1506/66	<i>dupliatrum, duplinigrum</i>	67	58	0,92	0,38
20135	Линия АНОР 3287/66	<i>deficiens</i>	-	-	0,79	0,29
20523	Dzor-258	<i>pallidum</i>	58	33	0,84	0,44
20524	Dzor-265	<i>steudelii</i>	58	56	0,75	0,68
20864	Местный	<i>nutans</i>	50	42	0,73	0,73
21139	DZ02-180	<i>pallidum</i>	58	57	0,92	0,49
21267	DZ02-602	<i>deficiens</i>	51	45	0,97	0,66
21273	DZ02-613	<i>pallidum</i>	65	46	-	-
21301	II-29г	<i>pallidum, nigrum, nigripallidum</i>	-	-	0,99	0,74
21890	DZ02-587	<i>deficiens</i>	62	47	-	-
22308	Н.2198 Ubamer Baco	<i>griseinudunerme</i>	54	51	0,92	0,62
22752	Местный	<i>nudimelanocrithum</i>	71	61	0,99	0,72
22933	Dz02-128	<i>pallidum, dubium</i>	-	-	0,89	0,88
22955	Dz02-321	<i>nigripallidum</i>	55	45	-	-
22986	Dz02-557	<i>deficiens</i>	59	49	0,86	0,70



Таблица. (Окончание)

Table. (End)

№ по каталогу ВИР	Образец	Разновидность	NaCl, длина корешка по отношению к контролю, %		Al <sup>3+</sup> , индекс длины	
			0,7 мПа	0,9 мПа	ростка	корня
23038	1-24г	<i>pallidum, nigripallidum</i>	45	46	-	-
23065	III-456	<i>pallidum</i>	48	46	0,92	0,46
23068	III-59a	<i>pallidum, deficiens</i>	-	-	0,92	0,73
23450	H.2866 Coll.Halle EP80	<i>griseinudunerme</i>	85	62	0,92	0,41
23869	WGA 72-7	<i>nutans</i>	-	-	0,82	0,51
24821	H3048 Coll.Halle	<i>virideinerme</i>	51	42	0,61	0,59
25008	Местный	<i>dupliatrum</i>	-	-	0,59	0,59
25009	Местный	<i>nigrinudum</i>	80	71	0,91	0,63
25019	DZO 2-99	<i>steudelii</i>	58	56	-	-
25534	Dz02-711	<i>nigripallidum</i>	64	46	0,67	0,65
26606	Местный	<i>nigripallidum</i>	-	-	0,82	0,50
26590	Местный	<i>duplinigrum</i>	-	-	0,69	0,56
26697	Местный	<i>pallidum</i>	-	-	0,82	0,59
27212	Wondo	<i>pallidum</i>	69	54	0,95	0,61
27670	АНОР 416/67	<i>pallidum</i>	67	44	0,89	0,67
28126	Addis Ababa 14 E536 3076	<i>contractum</i>	40	44	0,66	0,48
28220	Местный	<i>pallidum</i>	-	-	0,88	0,77
29720	Ethiopia AB.2193	<i>nudimelanocrithum</i>	69	62	0,87	0,56
30313	Ethiopia Ab9	<i>duplialbum</i>	67	70	0,93	0,68
22024	Одесский 70 (устойчивый к NaCl стандарт)		66,1	49,5	-	-
19928	Краснодарский 35 (устойчивый к NaCl стандарт)		68,2	53,9	-	-
15619	Полярный (устойчивый к Al <sup>3+</sup> стандарт)		-	-	0,98	0,91

По индексу длины ростка образцы представлены в основном высокоустойчивыми (79,07%) и устойчивыми (18,60%) формами, и лишь 2,32% составили среднеустойчивые образцы. Неустойчивые и среднечувствительные формы не выявлены.

Образцы ячменя к-17554, к-22752 и к-25009 – носители эффективного гена неспецифической устойчивости к мучнистой росе *mlo11* (Alpatyeva et al., 2016; Abdullaev et al., 2019) – характеризуются комплексной устойчивостью к мучнистой росе, токсичным ионам алюминия и хлоридному засолению почвы.

#### Заключение

Выявлен существенный полиморфизм ячменей из Эфиопии по устойчивости к неблагоприятным эдафическим факторам. Выделен 21 источник устойчивости

ячменя к действию токсичных ионов алюминия, причем образцы к-8552 и к-22933 отнесены к группе высокоустойчивых. Образцы к-17554, к-19975, к-20029, к-20048, к-22752, к-23450, к-25009 устойчивы к засолению почвы. Образцы ячменя к-17554, к-22752 и к-25009 обладают комплексной устойчивостью к мучнистой росе, токсичным ионам алюминия и хлоридному засолению почвы.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 18-016-00075) и бюджетного проекта № 0662-2019-0006 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

## References/Литература

- Abdullaev R.A., Kosareva I.A., Radchenko E.E. Laboratory screening of barley samples from Dagestan for resistance to chloride salinization. *Achievements of Science and Technology of AIC*, 2015;29(7):24-26. [in Russian] (Абдуллаев Р.А., Косарева И.А., Радченко Е.Е. Лабораторный скрининг образцов ячменя из Дагестана по устойчивости к хлоридному засолению. *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(7):24-26).
- Abdullaev R.A., Lebedeva T.V., Alpatieva N.V., Yakovleva O.V., Kovaleva O.N., Radchenko E.E. et al. Genetic diversity of barley accessions from Ethiopia for powdery mildew resistance. *Russian Agricultural Sciences*. 2019;45(3):232-235. DOI: 10.3103/S1068367419030029
- Alpatyeva N.V., Abdullaev R.A., Anisimova I.N., Gubareva N.K., Radchenko E.E. Local barley accessions from Ethiopia resistant to powdery mildew. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2016;177(4):70-78. [in Russian] (Алпатъева Н.В., Абдуллаев Р.А., Анисимова И.Н., Губарева Н.К., Радченко Е.Е. Устойчивые к мучнистой росе образцы местного ячменя из Эфиопии. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2016;177(4):70-78). DOI: 10.30901/2227-8834-2016-4-70-78
- Bose J., Babourina O., Rengel Z. Role of magnesium in alleviation of aluminum toxicity in plants. *Journal of Experimental Botany*. 2011;62(7):2251-2264. DOI: 10.1093/jxb/erq456
- Bose J., Babourina O., Shabala S., Rengel Z. Low-pH and aluminum resistance in *Arabidopsis* correlates with high cytosolic magnesium content and increased magnesium uptake by plant roots. *Plant and Cell Physiology*. 2013;54(7):1093-1104. DOI: 10.1093/pcp/pct064
- Clarkson D.T. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant Physiology*. 1966;41(1):165-172. DOI: 10.1104/pp.41.1.165
- Davydova G.V., Koval V.S., Lukyanova M.V. Catalogue of the VIR global collection. Issue 605. Barley. Characterization of breeding and local varieties for salt tolerance (Katalog mirovoy kollektzii VIR. Vypusk 605. Yachmen. Kharakteristika selektsionnykh i mestnykh sortov na soleustoychivost). St. Petersburg: VIR; 1991. [in Russian] (Давыдова Г.В., Коваль В.С., Лукьянова М.В. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 605. Ячмень. Характеристика селекционных и местных сортов на солеустойчивость. Санкт-Петербург: ВИР; 1991).
- Echart C.L., Barbosa-Neto J.F., Garvin D.F., Cavalli-Molina S. Aluminum tolerance in barley: methods for screening and genetic analysis. *Euphytica*. 2002;126(3):309-313. DOI: 10.1023/A:1019964410057
- Ellis R.P., Forster B.P., Gordon D.C., Handley L.L., Keith R.P., Lawrence P. et al. Phenotype/genotype associations for yield and salt tolerance in a barley mapping population segregating for two dwarfing genes. *Journal of Experimental Botany*. 2002;53(371):1163-1176. DOI: 10.1093/jxb/53.371.1163
- Foy C.D., Fleming A.L., Bums G.R., Arming W.H. Characterization of differential aluminum tolerance among varieties of wheat and barley. *Soil Science Society of America Journal*. 1967;31(4):513-521. DOI: 10.2136/sssaj1967.03615995003100040027x
- Gruzdeva E.V., Yakovleva O.V., Kosareva I.A., Kapeshinskiy A.M., Terentieva I.A., Kovaleva O.N. Catalogue of the VIR global collection. Issue 701. Barley. Laboratory assessment of barley accessions for acid resistance ( $Al^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ) (Katalog mirovoy kollektzii VIR. Vypusk 701. Yachmen. Laboratornaya otsenka obraztsov yachmenya na kislotoustoychivost [ $Al^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ]). St. Petersburg: VIR; 1999. [in Russian] (Груздева Е.В., Яковлева О.В., Косарева И.А., Капешинский А.М., Терентьева И.А., Ковалева О.Н. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 701. Ячмень. Лабораторная оценка образцов ячменя на кислотоустойчивость ( $Al^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ). Санкт-Петербург: ВИР; 1999).
- Gyenis L., Yun J.S., Smith K.P., Steffenson B.J., Bossolini E., Sanguineti M.C. et al. Genetic architecture of quantitative trait loci associated with morphological and agronomic trait differences in a wild by cultivated barley cross. *Genome*. 2007;50(8):714-723. DOI: 10.1139/G07-054
- Klimashevskiy E.L. Physiological and genetic foundations of the agrochemical effectiveness of plants (Fiziologo-geneticheskiye osnovy agrokhimicheskoy effektivnosti rasteniy). In: *Physiological foundations of plant breeding (Fiziologicheskiye osnovy selektsii rasteniy)*. Vol. 2 (Pt 1). St. Petersburg: VIR; 1995. p.97-157. [in Russian] (Климашевский Э.Л. Физиолого-генетические основы агрохимической эффективности растений. В кн.: *Физиологические основы селекции растений*. Т. 2, ч. 1. Санкт-Петербург: ВИР; 1995. С.97-157).
- Kopittke P.M., Moore K.L., Lombi E., Gianoncelli A., Ferguson B.J., Blamey F.P.C. et al. Identification of the primary lesion of toxic aluminum in plant roots. *Plant Physiology*. 2015;167(4):1402-1411. DOI: 10.1104/pp.114.253229
- Koval V.S., Rigin B.V. Definition of the number of salt tolerance genes for barley (*Hordeum vulgare* L.). *Proceedings of the Academy of Sciences*. 1993;331(4):518-520. [in Russian] (Коваль В.С., Ригин Б.В. Определение числа генов, контролирующих признак солеустойчивости ячменя (*Hordeum vulgare* L.). *Доклады Академии наук*. 1993;331(4):518-520).
- Lapina L.P., Sokolova T.V., Stroganov B.P. Localization of chlorine in glycophytes and halophytes during salinization (Lokalizatsiya khloro u glikofitov i galofitov pri zasolenii). *Fiziologiya rasteniy = Plant Physiology*. 1980;27(2):278-286. [in Russian] (Лапина Л.П., Соколова Т.В., Строганов Б.П. Локализация хлора у гликофитов и галофитов при засолении. *Физиология растений*. 1980;27(2):278-286).
- Long N.V., Dolstra O., Malosetti M., Kilian B., Graner A., Visser R.G.F. et al. Association mapping of salt tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Theor Appl Genet*. 2013;126(9):2335-2351. DOI: 10.1007/s00122-013-2139-0
- Mano Y., Takeda K. Mapping quantitative trait loci for salt tolerance at germination and at the seedling stage of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Euphytica*. 1997;94(3):263-272. DOI: 10.1023/A:1002968207362
- McLean F.T., Gilbert B.E. The relative aluminum tolerance of crop plants. *Soil Science*. 1927;24:163-175.
- Meshcheryakov A.I. The effect of acidity and aluminum on plant growth (Vliyaniye kislotnosti i alyuminiya na rost rasteniy). *Trudy VIUA = Proceedings of the VIUA (Agrochemistry Research Institute)*. 1937;16:166-182. [in Russian] (Мещеряков А.И. Влияние кислотности и алюминия на рост растений. *Труды ВИУА*. 1937;16:166-182).
- 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
- Pankova E.I., Vorobyva L.A., Gadjiev I.M., Gorokhova I.I., Elizarova T.N., Korolyuk T.V., Lopatovskaya O.G., Novikova A.F., Reshetov G.G., Skripnikova M.I., Slavnyi Yu.A.,

- Chernousenko G.I., Yamnova I.A. Saline soils of Russia (Zasolennye pochvy Rossii). Moscow: Akademkniga; 2006. [in Russian] (Панкова Е.И., Воробьева Л.А., Гаджиев И.М., Горохова И.И., Елизарова Т.Н., Королюк Т.В., Лопатовская О.Г., Новикова А.Ф., Решетов Г.Г., Скрипникова М.И., Славный Ю.А., Черноусенко Г.И., Ямнова И.А. Засоленные почвы России. Москва: Академкнига; 2006).
- Ried D.A. Genetic control of reaction to aluminum in winter barley. In: Nilan R.A. (ed.). *Barley genetics 2: Proceedings of 2 International Barley Genetics Symposium 1969 at Washington State University*. Washington: Washington State University Press; 1971. p.409-413.
- Rigin B.V., Yakovleva O.V. Genetic analysis of toxic aluminum ion tolerance in barley. *Russian Journal of Genetics*. 2006;42(3):301-305. DOI: 10.1134/S1022795406030100
- Semushina L.A. Determination of salt tolerance in barley (guidelines). (Opredeleniye soleustoychivosti yachmenya [metodicheskiye ukazaniya]). Leningrad: VIR; 1980. [in Russian] (Семущина Л.А. Определение солеустойчивости ячменя: (методические указания). Ленинград: ВИР; 1980).
- Stroganov B.P., Kabanov V.V., Shevyakova N.I. The structure and functions of plant cells during salinization (Struktura i funktsii kletok rasteniy pri zasolenii). Moscow; 1970. [in Russian] (Строгонов Б.П., Кабанов В.В., Шевякова Н.И. Структура и функции клеток растений при засолении. Москва; 1970).
- Tang Y, Sorells M.E., Kochian L.V., Garvin D.F. Identification of RFLP markers linked to the barley aluminum tolerance gene *Alp*. *Crop Sci*. 2000;40(3):778-782. DOI: 10.2135/cropsci2000.403778x
- Udovenko G.V. Study of the physiology of plant resistance to adverse environmental conditions. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1975;56(1):154-161. [in Russian] (Удовенко Г.В. Исследование физиологии устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1975;56(1):154-161).
- Udovenko G.V., Volkova A.M. Determination of salt tolerance of cereals at an early age by a complex of growth parameters (guidelines). (Opredeleniye v rannem vozraste soleustoychivosti zernovykh zlakov po kompleksu rostovykh parametrov [metodicheskiye ukazaniya]). St. Petersburg: VIR; 1993. [in Russian] (Удовенко Г.В., Волкова А.М. Определение в раннем возрасте солеустойчивости зерновых злаков по комплексу ростовых параметров: (методические указания). Санкт-Петербург: ВИР; 1993).
- Wagatsuma T, Yamasaku K. Relationship between differential aluminum tolerance and plant induced pH change of medium among barley cultivars. *Soil Science and Plant Nutrition*. 1985;31(4):521-535. DOI: 10.1080/00380768.1985.10557461
- Winicov I. New molecular approaches to improving salt tolerance in crop plants. *Annals of Botany*. 1998;82(6):703-710. DOI: 10.1006/anbo.1998.0731
- 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. Tolerance of barley to toxic ions of aluminum in the conditions of soil culture. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 2011;168:54-64. [in Russian] (Яковлева О.В., Капешинский А.М. Толерантность ячменя к токсичным ионам алюминия в условиях почвенной культуры. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2011;168:54-64).
- Yakovleva O.V., Kapeshinskiy A.M., Kovaleva O.N. Aluminum toxic ions tolerance in cultivated and wild barley. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 2009;165:56-59. [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;165:56-59).
- 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 ( $H^+$  +  $Al^{3+}$ ) (Katalog mirovoy kolleksitsii VIR. Vypusk 824. 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).

#### 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., Яковлева О.В., Косарева И.А., Радченко Е.Е., Баташева Б.А. Скрининг резистентных к мучнистой росе образцов ячменя из Эфиопии по устойчивости к абиотическим стрессорам. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(4):152-158. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-152-158

Abdullaev R.A., Yakovleva O.V., Kosareva I.A., Radchenko E.E., Bataшева B.A. Screening of powdery mildew resistant barley accessions from Ethiopia for tolerance to abiotic stressors. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(4):152-158. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-152-158

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/10.30901/2227-8834-2019-4-152-158>

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

Все авторы одобрили рукопись/All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует/No conflict of interest