

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 633.16:632.938.1
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-188-193



Ювенильная устойчивость ячменей из Восточноазиатского центра происхождения и доместикации культурных растений к мучнистой росе

Р. А. Абдуллаев, И. Н. Анисимова, О. Н. Ковалева, Е. Е. Радченко

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

Автор, ответственный за переписку: Ренат Абдуллаевич Абдуллаев, abdullaev.1988@list.ru

Актуальность. Существенное снижение урожая ячменя может быть обусловлено мучнистой росой (возбудитель – *Blumeria graminis* (DC.) Golovin ex Speer f. sp. *hordei* Marchal). Подавляющее большинство сортов, допущенных к использованию на территории России, восприимчиво к патогену. Вовлечение в селекцию образцов, защищенных не использовавшимися ранее генами устойчивости, необходимо для обеспечения продовольственной безопасности страны. Довольно богатым источником пополнения банка эффективных генов устойчивости к патогену могут быть местные формы ячменя.

Материал и методика. Изучали 950 образцов ячменя из Восточноазиатского центра происхождения и доместикации культурных растений: 449 образцов из Японии, 313 – Китая, 173 – Монголии, 15 – Непала. Эксперименты проводили в климатической камере при искусственном заражении ювенильных растений. Инокулюмом служила северо-западная (Санкт-Петербург, Пушкин) популяция *B. graminis*. Устойчивость оценивали с помощью балловой шкалы. Выделившиеся формы тестировали дважды.

Результаты и выводы. Выявлена значительная изменчивость образцов коллекции ячменя из стран Восточной Азии по устойчивости к мучнистой росе. Симптомы болезни не обнаружены на растениях 16 изученных форм; слабое или умеренное развитие мицелия *B. graminis* отмечено на растениях 21 образца. Гетерогенны по изученному признаку 27 образцов ячменя. Различный уровень устойчивости выявлен у 64 изученных образцов (6,73%), среди которых 44 – сорта и селекционные линии, 20 – местные ячмени. Восприимчивы к северо-западной популяции патогена 93,27% образцов коллекции.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare*, Восточная Азия, *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*, степень поражения

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (Проект № 21-76-00018, <https://rscf.ru/project/21-76-00018/>).

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

Для цитирования: Абдуллаев Р.А., Анисимова И.Н., Ковалева О.Н., Радченко Е.Е. Ювенильная устойчивость ячменей из Восточноазиатского центра происхождения и доместикации культурных растений по устойчивости к мучнистой росе. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):188-193. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-188-193

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-188-193

Juvenile resistance of barleys from the East Asian center of crop origin and domestication to powdery mildew

Renat A. Abdullaev, Irina N. Anisimova, Olga N. Kovaleva, Evgeny E. Radchenko

*N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia***Corresponding author:** Renat A. Abdullaev, abdullaev.1988@list.ru

Background. A significant reduction in the yield of barley may be provoked by powdery mildew (causative agent: *Blumeria graminis* (DC.) Golovin ex Speer f. sp. *hordei* Marchal). A vast majority of cultivars approved for use in Russia are susceptible to the pathogen. Including genotypes protected by previously unused resistance genes into breeding practice is necessary to ensure the national food security. Barley landraces could become a fairly rich source of replenishment for the bank of effective pathogen resistance genes.

Materials and methods. The study covered 950 barley accessions from the East Asian center of crop origin and domestication: 449 accessions from Japan, 313 from China, 173 from Mongolia, and 15 from Nepal. The experiments were carried out on young plants in a climatic chamber under artificial infection conditions. The northwestern (Pushkin, St. Petersburg) population of *B. graminis* served as an inoculum. Plant resistance was assessed using a scoring scale. The resistance of the selected forms was assessed twice.

Results and conclusions. Significant variability of barley accessions from the countries of East Asia in their resistance to powdery mildew was observed. Symptoms of the disease were not found on plants of 16 studied forms. Weak or moderate development of the *B. graminis* mycelium was recorded for 21 accessions. Twenty-seven accessions were heterogeneous in the studied trait. Various levels of resistance were identified in 64 studied accessions (6.73%), among which 44 represented cultivars and breeding lines, and 20 were landraces. The percentage of accessions susceptible to the studied population of the pathogen was 93.27%.

Keywords: *Hordeum vulgare*, East Asia, *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*, damage score

Acknowledgements: the study was financially supported by the Russian Science Foundation (Project No. 21-76-00018, <https://rscf.ru/project/21-76-00018/>).

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

For citation: Abdullaev R.A., Anisimova I.N., Kovaleva O.N., Radchenko E.E. Juvenile resistance of barleys from the East Asian center of crop origin and domestication to powdery mildew. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3): 188-193. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-188-193

Введение

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) – популярная сельскохозяйственная культура, имеющая важное экономическое значение, прежде всего для кормопроизводства и пивоварения. Использование в питании человека невелико, однако зерно ячменя обладает большим потенциалом как источник полисахаридов благодаря высокому содержанию β -глюканов, способствующих укреплению иммунитета, а также характеризуется многими другими ценными качествами (Loskutov, Polonskiy, 2017; Sagnelli et al., 2018). Экологическая пластичность культуры позволяет выращивать ячмень в Российской Федерации почти повсеместно. Вместе с тем средняя урожайность в России составляет 20–25 ц зерна с гектара (Dontsova et al., 2016), что значительно уступает сбору зерна во многих других европейских странах.

Существенное снижение урожая могут обуславливать вредные организмы. Ущерб, вызванный только мучнистой росой (возбудитель – облигатный гриб *Blumeria graminis* (DC.) Golovin ex Speer f. sp. *hordei* Marchal), достигает 30–50% (Gong et al., 2013, Tratwal, Bocianowski, 2014). Известно множество генов, контролирующих устойчивость ячменя к мучнистой росе, большинство из которых представлены аллельными вариантами локусов *Mla* и *Mlo* (Jørgensen, 1994; Seeholzer, 2009; Reinstädler et al., 2010; Kusch, Panstruga, 2017). К сожалению, большинство идентифицированных генов неэффективны против популяций гриба, распространенных в России. Так, фитопатологическое тестирование показало, что к дагестанской и северо-западной популяциям *B. graminis* эффективными аллелями являются *mlo1*, *mlo3*, *mlo4*, *mlo5*, *mlo8*, *mlo9*, *mlo10*, *mlo11* и *Mla16*, *Mla18*, *Mla19*, *Mlai* (Abdullaev et al., 2021). Среди 168 сортов российской селекции, включенных в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории России, лишь четыре образца оказались среднеустойчивыми к мучнистой росе, а 164 изученные формы высоко восприимчивы в ювенильной фазе развития (Abdullaev et al., 2020). Наши исследования свидетельствуют

о необходимости расширения генетического разнообразия возделываемых сортов ячменя по устойчивости к *B. graminis*.

Важным источником пополнения запаса эффективных генов устойчивости могут стать образцы местного ячменя. Одним из основных центров происхождения ячменя считается Восточноазиатский генцентр. В Восточной Азии встречаются присущие только этому региону эндемичные формы, здесь сосредоточено большое количество голозерных, фуркатных, безостых и короткоостых форм (Vavilov, 1987). Нам известны лишь фрагментарные исследования устойчивости ячменей из стран Восточной Азии к возбудителю мучнистой росы, последнее из которых выполнено в 2001–2002 гг. В полевых условиях на фоне естественной эпифитотии в стадии флаг-листа оценили пораженность мучнистой росой 243 образцов ячменя (190 – из Китая, 25 – Непала, 26 – КНДР, 2 – Южной Кореи) и выделили шесть умеренно устойчивых форм (Radchenko et al., 2004).

Цель настоящей работы – изучение ювенильной устойчивости образцов ячменя из Восточноазиатского центра происхождения и доместикации культурных растений по устойчивости к мучнистой росе.

Материалы и методы

Изучали 950 образцов ячменя из стран Восточной Азии (449 образцов из Японии, 313 – Китая, 173 – Монголии, 15 – Непала). Коллекция представлена 528 сортами и селекционными линиями, 422 местными формами. Изучаемые образцы относятся к двум подвидам: ячмень шестирядный (*H. vulgare* subsp. *vulgare*) и двурядный (*H. vulgare* subsp. *distichon* (L.) Koern.) – и представлены 74 разновидностями.

Оценку устойчивости к *B. graminis* проводили в климатической камере Barnstead 845-2 при 12-часовом фотопериоде и температуре 16°C. Изучаемые образцы высеивали в пластиковые кюветы на смоченную водой вату (рисунок), накрывали стеклом и проращивали при комнатной температуре. Через трое суток кюветы с растени-



Рисунок. Оценка устойчивости образцов ячменя к возбудителю мучнистой росы
Figure. Assessment of barley accessions for their resistance to the powdery mildew pathogen

ями переносили в климатическую камеру. На седьмые сутки после посева проростки заражали путем стряхивания на них конидий с пораженных мучнистой росой растений. Популяция патогена была собрана на полях научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (ППЛ ВИР, Санкт-Петербург, Пушкин) в 2019 г. При размножении гриба и в качестве контроля в процессе скрининга использовали восприимчивый сорт ячменя 'Белогорский'. Выделившиеся по устойчивости образцы пересеивали, заражали и оценивали дважды.

Устойчивость интактных растений оценивали с помощью шкалы E. V. Mains, S. M. Dietz (1930):

0 – иммунный или высокоустойчивый, нет видимого мицелия;

1 – высокоустойчивый, слабое развитие мицелия;

2 – умеренно устойчивый, умеренное развитие мицелия;

3 – умеренно восприимчивый, умеренное развитие мицелия и умеренная споруляция;

4 – высоковосприимчивый, обильное развитие мицелия и обильная споруляция (см. рисунок).

Результаты и обсуждение

В результате исследований образцы ячменя из Восточноазиатского центра происхождения и доместикации культурных растений показали довольно широкое разнообразие по резистентности к мучнистой росе.

Наиболее устойчивыми к северо-западной популяции *B. graminis* оказались 16 образцов: 12 – из Японии, 3 –

Китая, 1 – Непала. Симптомы болезни на этих образцах не были обнаружены (таблица), поражение – 0 баллов. Менее выраженной устойчивостью (1 балл) характеризовались 9 изученных образцов (7 – из Японии, 1 – Китая, 1 – Непала), на которых отмечены единичные пустулы. Умеренное развитие мицелия (2 балла) наблюдали на 12 образцах (7 – из Китая, 3 – Японии, 1 – Монголии, 1 – Непала).

Ячмени из Восточноазиатского центра разнообразия отличаются большим количеством гетерогенных форм. Неоднородными по устойчивости к патогену на стадии проростков оказались 27 коллекционных образцов, среди которых 17 – сорта и селекционные линии, 10 – местные ячмени. Восприимчивы к патогену 886 исследованных генотипов, на растениях которых выявлены сильное развитие мицелия и обильная споруляция.

Ранее (Radchenko et al., 2004) было выделено пять устойчивых к *B. graminis* в стадии флаг-листа и гетерогенных по этому признаку образцов ячменя из Китая: к-3513, к-12224, к-12302, к-15582, к-15869. В наших экспериментах образец к-3513 был гетерогенен по устойчивости (поражение растений варьировало от 0 до 3 баллов), остальные формы оказались высоковосприимчивыми к патогену в фазе всходов. Вероятными объяснениями этого могут быть существенное изменение популяции патогена за последние 20 лет либо различие генетического контроля устойчивости растений во взрослой и ювенильной стадиях развития. Умеренной устойчивостью ранее характеризовался также образец к-29587 из КНДР (Radchenko et al., 2004), который нами еще не изучен.

Таблица. Образцы ячменя из Восточноазиатского центра происхождения и доместикации культурных растений, выделенные по устойчивости к мучнистой росе

Table. Barley accessions from the East Asian center of crop origin and domestication, identified for their resistance to powdery mildew

Номер по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Образец / Accession	Происхождение / Origin	Разновидность / Variety	Устойчивость, балл / Resistance, score
3433	Местный	Китай	<i>pallidum</i>	1
3447	«	Китай	«	2
3493	«	Китай	«	2
3904	«	Монголия	<i>coeleste</i>	2
8447	Тамо	Китай	<i>pallidum</i>	2
10931	Wase golden	Япония	<i>nutans</i>	1
10934	Hokudai N1(Niigata-ken)	Япония	<i>erectum, nutans</i>	1
11608	Местный	Япония	<i>nutans, nigricans</i>	0
12278	Shansi	Китай	<i>erectum</i>	0
12289	Местный	Китай	<i>pallidum</i>	2
15151	«	Китай	<i>persicum</i>	2
16225	«	Китай	<i>pallidum</i>	2
16290	«	Китай	«	2
17545	Јар. 456	Япония	<i>erectum</i>	0
20238	Kirinehoku N1	Япония	«	1
20272	Коа	Япония	«	0
20279	Kinai N 5	Япония	«	1

Таблица. Окончание

Table. The end

Номер по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Образец / Accession	Происхождение / Origin	Разновидность / Variety	Устойчивость, балл / Resistance, score
20354	Wasetaukdu gool	Япония	«	0
21325	Shikokuhadaka N 7	Япония	<i>subnudipyramidatum brevisetum</i>	0
21397	Heiwahadaka	Япония	<i>brevisetum</i>	1
21407	Hakudo N 6	Япония	<i>subnudipyramidatum</i>	2
21411	Shikokuhadaka N 14	Япония	<i>brevisetum</i>	0
21417	Kokakushibarie	Япония	<i>pallidum</i>	2
22094	Wasehadaka	Япония	<i>brevisetum</i>	2
23346	Kairyobozumugi	Япония	«	1
23866	Gamma 4	Япония	<i>erectum</i>	0
23867	Gamma 8	Япония	«	1
23932	NB 1301	Непал	<i>parallelum</i>	0
23933	NB 0301	Непал	<i>harlani</i>	1
24851	H15 Nepal 1	Непал	<i>revelatotrifurcatum</i>	2
24934	Местный	Китай	<i>medicum</i>	0
24935	TI 122	Китай	<i>pallidum</i>	0
26742	Beerhadaka	Япония	<i>nudum</i>	0
27867	Nirasaki Nija 10	Япония	<i>erectum</i>	0
27869	Azuma Golden	Япония	«	0
28779	Nirasaki Nijo 12	Япония	«	0
29531	Nirasaki wase	Япония	«	0
Белогорский (восприимчивый контроль)				4

Выводы

В результате скрининга 950 образцов ячменя из Восточноазиатского центра происхождения и доместикации культурных растений выявлено значительное разнообразие изученных форм по устойчивости к мучнистой росе. Различный уровень устойчивости выявлен у 64 образцов. Наибольшее количество резистентных форм отмечено среди ячменей из Японии – 32 сорта и селекционные линии, а также один местный генотип. Для использования в селекции могут быть рекомендованы 37 образцов, поражение которых не превышало двух баллов.

References / Литература

- Abdullaev R.A., Batasheva B.A., Alpatieva N.V., Chumakov M.A., Radchenko E.E., Kovaleva O.N. et al. 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. [in Russian] (Абдуллаев Р.А., Баташева Б.А., Алпатьева Н.В., Чумakov М.А., Радченко Е.Е., Ковалева О.Н. и др. 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., Lebedeva T.V., Alpatieva N.V., Batasheva B.A., Anisimova I.N., Radchenko E.E. Powdery mildew resistance of barley accessions from Dagestan. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(5):528-533. DOI: 10.18699/VJ21.059
- Dontsova A.A., Filippov E.G., Dontsov D.P., Ternovaya E.A. Barley production in Russia and in the world. *Grain Economy of Russia*. 2016;(6):7-13. [in Russian] (Донцова А.А., Филиппов Е.Г., Донцов Д.П., Терновая Е.А. Производство ячменя в мире и России. *Зерновое хозяйство России*. 2016;(6):7-13).
- Gong X., Li C., Zhang G., Yan G., Lance R., Sun D. Novel genes from wild barley *Hordeum spontaneum* for barley improvement. In: G. Zhang, C. Li, X. Liu (eds). *Advance in Barley Sciences*. Dordrecht: Springer; 2013. p.69-89. DOI: 10.1007/978-94-007-4682-4_6
- 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
- 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., Polonskiy V.I. Content of β -glucans in oat grain as a perspective direction of breeding for health products and fodder (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(4):646-657. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Полонский В.И. Селекция на содержание β -глюканов в зерне овса как перспективное направление для получения продуктов здорового питания, сырья и фуража (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(4):646-657). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.646rus
- Mains E.B., Dietz S.M. Physiologic forms of barley mildew *Erysiphe graminis hordei*. *Phytopathology*. 1930;20(3):229-239.
- Radchenko E.E., Zveinek I.A., Tyryshkin L.G., Konovalova G.S., Semenova A.G., Khokhlova A.P. Catalogue of the VIR global collection. Issue 751. Barley. Pest and disease resistance of accessions from South-East Asia (Katalog mirovoy kolektsii VIR. Vypusk 751. Yachmen. Uстойчивость obraztsov iz Yugo-Vostochnoy Azii k vreditelyam i boleznyam). St. Petersburg: VIR; 2004. [in Russian] (Радченко Е.Е., Звейнек И.А., Тырышкин Л.Г., Коновалова Г.С., Семенова А.Г., Хохлова А.П. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 751. Ячмень. Устойчивость образцов из Юго-Восточной Азии к вредителям и болезням. Санкт-Петербург: ВИР; 2004).
- 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
- Sagnelli D., Chessa S., Mandalari G., Di Martino M., Sorndech W., Mamone G. et al. Low glycaemic index foods from wild barley and amylose-only barley lines. *Journal of Functional Foods*. 2018;40:408-416. DOI: 10.1016/j.jff.2017.11.028
- Seeholzer S. Isolation and characterisation of new R-protein variants encoded at the barley *Mla* locus that specify resistance against the fungus powdery mildew [dissertation]. Zürich: University of Zurich; 2009. DOI: 10.5167/uzh-31283
- Tratwal A., Bocianowski J. *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* virulence frequency and the powdery mildew incidence on spring barley in the Wielkopolska province. *Journal of Plant Protection Research*. 2014;54(1):28-35. DOI: 10.2478/jppr-2014-0005
- Vavilov N.I. Origin and geography of cultivated plants. V.F. Dorofeev (ed.). Leningrad: Nauka; 1987. [in Russian] (Вавилов Н.И. Происхождение и география культурных растений / под ред. В.Ф. Дорофеева. Ленинград: Наука; 1987).

Информация об авторах

Ренат Абдуллаевич Абдуллаев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, abdullaev.1988@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1021-7951>

Ирина Николаевна Анисимова, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, irina_anisimova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0474-8860>

Ольга Николаевна Ковалева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, o.kovaleva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3990-6526>

Евгений Евгеньевич Радченко, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, eugene_radchenko@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3019-0306>

Information about the authors

Renat A. Abdullaev, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, abdullaev.1988@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1021-7951>

Irina N. Anisimova, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, irina_anisimova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0474-8860>

Olga N. Kovaleva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, o.kovaleva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3990-6526>

Evgeny E. Radchenko, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, eugene_radchenko@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3019-0306>

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 17.02.2022; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принята к публикации 06.09.2022
The article was submitted on 17.02.2022; approved after reviewing on 22.03.2022; accepted for publication on 06.09.2022