

DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen634379>

Оригинальное исследование



Разнообразие голозерных образцов ячменя из коллекции ВИР по устойчивости к мучнистой росе в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации

К.А. Лукина, Р.А. Абдуллаев, Н.В. Алпатьева, И.Г. Лоскутов, О.Н. Ковалева

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

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Ячмень — важная зерновая культура, отличающаяся высокой адаптивностью к различным условиям выращивания. В последние годы пристальное внимание уделяется голозерному ячменю, который по сравнению с пленчатым требует меньших затрат на механизированную переработку и обладает рядом биохимических преимуществ. В то же время он сильнее подвержен влиянию патогенов, что приводит к снижению урожайности и качества зерна. К наиболее вредоносным болезням ячменя относится мучнистая роса, возбудитель — *Blumeria graminis* (DC.) Golovin ex Speer f. sp. *hordei* Marchal. Поиск новых перспективных источников устойчивости к мучнистой росе необходим для селекции ячменя.

Цель — изучение устойчивости к мучнистой росе голозерных образцов ярового ячменя из мировой коллекции ВИР и выявление перспективных источников по хозяйственно ценным признакам.

Материалы и методы. В полевых и лабораторных условиях исследовали 271 образец голозерного ячменя по устойчивости к мучнистой росе, полеганию, продолжительности вегетационного периода и урожайности. Изучение образцов ячменя в поле проводили с использованием «Методических указаний по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса». Инокулом для лабораторной работы был представлен северо-западной популяцией *B. graminis*. Тип реакции на заражение в лаборатории оценивали с помощью шкалы E.B. Mains, S.M. Dietz, где 0 — иммунный, 4 — высоко восприимчивый. Высокоэффективный аллель *mlo11* идентифицировали с помощью ПЦР.

Результаты. Показано разнообразие ячменя по устойчивости к *B. graminis*. Устойчивыми на естественном фоне оказались 16 образцов, преимущественно из Европы, а также местные формы из Эфиопии, Японии и Индии. По результатам оценки на ювенильной стадии выявлены один высокоустойчивый образец к-31058 и пять умеренно устойчивых к-20923, к-25801, к-27165, к-29911, к-30231. Среди голозерных форм на всех стадиях развития растений устойчивостью отличались к-20923 из Германии и к-29911 из Польши. Аллель *mlo11* был обнаружен у сорта Arabische к-20923 и гетерогенных по устойчивости к патогену образцов к-20921, к-25793, к-27080, к-29440, к-29820.

Выводы. В результате выполненной работы выделены источники устойчивости к мучнистой росе с комплексом хозяйственно ценных признаков, которые могут быть успешно использованы для создания новых сортов голозерного ячменя.

Ключевые слова: голозерный ячмень; устойчивость к мучнистой росе; аллель *mlo11*; хозяйственно ценные признаки.

Как цитировать

Лукина К.А., Абдуллаев Р.А., Алпатьева Н.В., Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н. Разнообразие голозерных образцов ячменя из коллекции ВИР по устойчивости к мучнистой росе в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации // Экологическая генетика. 2024. Т. 22. № 3. С. 243–253. DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen634379>

DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen634379>
Original Study Article

Genetic diversity of naked barley accessions from the VIR collection for resistance to powdery mildew in the North-West Region of the Russian Federation

Kseniia A. Lukina, Renat A. Abdullaev, Natalia V. Alpatieva, Igor G. Loskutov, Olga N. Kovaleva

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Barley is an important grain crop characterized by adaptability to various growing conditions. In recent years close attention has been paid to groups of naked barley which compared to covered barley is more susceptible to the influence of pathogens, that decreases the yield and quality of grain. Powdery mildew is the most harmful diseases of barley (caused by the biotrophic fungus *Blumeria graminis* (DC.) Golovin ex Speer f. sp. *hordei* Marchal). The search for new promising sources of resistance to powdery mildew is necessary for barley breeding.

AIM: The aim is studying the powdery mildew resistance of naked spring barley accessions from the world collection of VIR and identifying promising sources for economically valuable traits.

MATERIALS AND METHODS: In field and laboratory conditions 271 of naked barley accessions of different ecological and geographical origin were studied for powdery mildew resistance and other economically valuable traits (lodging resistance, duration of the vegetative period, yield). The pathogen inoculum for laboratory work was represented by the north-western population of the pathogen. The resistance of barley samples was assessed in the field using the VIR point scale, in the laboratory using the E.B. Mains, S.M. Dietz point scale. The highly effective to powdery mildew resistance allele *mlo11* was identified using PCR.

RESULTS: The diversity of barley of different origins in resistance to powdery mildew is shown. 16 samples mainly from Europe, local forms from Ethiopia, Japan and India, were found to be resistant in field condition. According to the results of the assessment at the juvenile stage, 1 highly resistant sample k-31058 and 5 moderately resistant (k-20923, k-25801, k-27165, k-29911, k-30231) were identified. The naked forms k-20923 from Germany and k-29911 from Poland were resistant at all stages of plant development. The *mlo11* allele was detected in the Arabische variety (k-20923) and heterogeneous pathogen resistance accessions k-20921, k-25793, k-27080, k-29440, k-29820.

CONCLUSIONS: As a result of the work the sources of resistance to powdery mildew with a complex of economically valuable traits were identified, which can be involve in the breeding.

Keywords: naked barley; resistance to powdery mildew; *mlo11* allele; economically valuable traits.

To cite this article

Lukina KA, Abdullaev RA, Alpatieva NV, Loskutov IG, Kovaleva ON. Genetic diversity of naked barley accessions from the VIR collection for resistance to powdery mildew in the North-West Region of the Russian Federation. *Ecological genetics*. 2024;22(3):243–253. DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen634379>

Received: 20.07.2024

Accepted: 10.09.2024

Published online: 20.09.2024

АКТУАЛЬНОСТЬ

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) — важная кормовая, продовольственная и пивоваренная культура, отличающаяся хорошей адаптивностью к различным условиям выращивания. Благодаря широкому распространению с длительной историей возделывания ячмень имеет большое внутривидовое разнообразие [1]. В настоящее время пристальное внимание уделяется группам голозерного ячменя, различные формы которых обладают рядом биохимических преимуществ в сравнении с пленчатыми и требуют меньших затрат на механизированную переработку. Однако голозерный ячмень характеризуется низкой устойчивостью к различным заболеваниям, что приводит к снижению качества получаемого зерна [2]. Сорта голозерного ячменя встречаются во всех зонах возделывания, преимущественно в Юго-Восточной, Центральной, Южной Азии и Северо-Восточной Африке [1]. В России посевы голозерного ячменя незначительны, в государственном реестре находятся всего восемь сортов, созданных с помощью местного материала [3].

Известно большое число патогенов, которые могут оказывать негативное влияние на растения ячменя и снижать его урожайность. Группы голозерного ячменя отличаются небольшим числом выявленных источников устойчивости к вредным организмам. Мучнистая роса [возбудитель — облигатный патоген *Blumeria graminis* (DC.) Golovin ex Speer f. sp. *hordei* Marchal] относится к одному из наиболее вредоносных заболеваний ячменя, которое встречается во всех регионах возделывания культуры [4]. Поражение от мучнистой росы затрагивает все зеленые части растения, вызывая преждевременное старение тканей, что приводит к снижению урожайности в среднем на 5–10 %, а в годы эпифитотий потери урожая могут достигать 50 % [5, 6].

У ячменя выявлено большое количество (более 100) аллелей, контролирующих устойчивость к *B. graminis*, многие из которых представлены вариантами генов *Mla*, *Mlo* и *Ml* [4, 7–9]. Большинство аллелей утратили свою эффективность против возбудителя болезни из-за изменения структуры популяции гриба и появления новых рас. На северо-западе России на данный момент эффективными являются аллели *mlo1*, *mlo3–mlo5*, *mlo8–mlo11* и *Mla16*, *Mla18*, *Mla19*, *Mlai* [10]. Длительную и эффективную устойчивость ячменя ко многим популяциям мучнистой росы обеспечивают *mlo11* и *mlo9* [11]. В настоящее время в европейских странах при создании сортов ярового ячменя чаще всего используют эти аллели [12]. Механизм действия *mlo* генов основан на предотвращении проникновения гриба в эпидермальные клетки хозяина и, таким образом, препятствует образованию и заражению гаусториями [13].

Мучнистая роса ячменя — одна из наиболее изученных систем взаимодействия хозяина и возбудителя. Генетики, фитопатологи и селекционеры, работающие

с ячменем, постоянно ищут новые источники генетического материала, из которых гены резистентности к *B. graminis* можно перенести в новые сорта. Селекция на иммунитет считается наиболее выгодным и экологически безопасным способом борьбы с мучнистой росой и другими болезнями. Мировая коллекция Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) является богатым источником исходного материала для гибридизации. Правильно подобранный и хорошо изученный материал обеспечивает успех в создании устойчивых сортов. Местные формы и стародавние сорта голозерного ячменя являются наиболее перспективными для получения нового исходного материала при создании продуктивных сортов голозерного ячменя.

Цель исследования — изучение устойчивости к мучнистой росе голозерных образцов ярового ячменя из мировой коллекции ВИР и выявление перспективных источников по хозяйственно ценным признакам.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение устойчивости коллекционных образцов ячменя проводили на полях НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» в 2021–2023 гг. Всего проанализирован 271 образец голозерного ячменя различного эколого-географического происхождения, в набор входили местные формы, стародавние и современные сорта, а также селекционные линии. Для сравнительной характеристики по всем изучаемым признакам подобрано 30 современных пленчатых сортов ячменя. Условия проведения опытов в течение этих трех лет изучения различались. Погодные условия 2021 г. характеризовались сильной засухой, укороченный период вегетации ячменя позволил «уйти» от болезни (табл. 1). Погодные условия в 2022 и 2023 гг. отличались от среднеевропейских данных незначительно и были более благоприятными для роста и развития растений.

Наблюдения и оценку образцов по хозяйственно ценным признакам (устойчивость к мучнистой росе, устойчивость к полеганию, продолжительность вегетационного периода, урожайность) проводили с использованием «Методических указаний по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса» [14]. Устойчивость образцов ячменя к мучнистой росе изучали на естественном фоне в период колошения и в фазу молочной спелости (рис. 1). Использовали 9-балльную шкалу ВИР, где 1 — устойчивость очень низкая (подушечки в изобилии покрывают все листья и междоузлия, в том числе верхние, поражение может захватить и колос); 3 — низкая (подушечки в массе развиваются главным образом на нижних листьях и междоузлиях, на верхнем ярусе листьев — отдельные рассеянные пятна); 5 — средняя (умеренное количество подушечек на листьях и междоузлиях нижнего яруса); 7 — высокая (единичные мелкие подушечки на листьях и междоузлиях нижнего яруса, подушечки могут

Таблица 1. Погодные условия в период вегетации за 2021–2023 гг. (Санкт-Петербург, Пушкин)
Table 1. Meteo conditions during the vegetative season for 2021–2023 (St. Petersburg, Pushkin)

Год изучения	Месяц			
	май	июнь	июль	август
Средняя температура воздуха, °С				
2021	12,1	21,4	23,1	16,9
2022	10,0	17,6	19,9	20,6
2023	11,9	17,3	18,5	19,9
Средняя многолетняя температура, °С	11,5	16,1	19,1	17,4
Сумма осадков, мм				
2021	139,4	22,1	50,3	135,1
2022	25,6	47	75,5	112,6
2023	16,7	47,9	95,0	48,5
Средняя многолетняя сумма осадков, мм	47,0	69,0	84,0	87,0

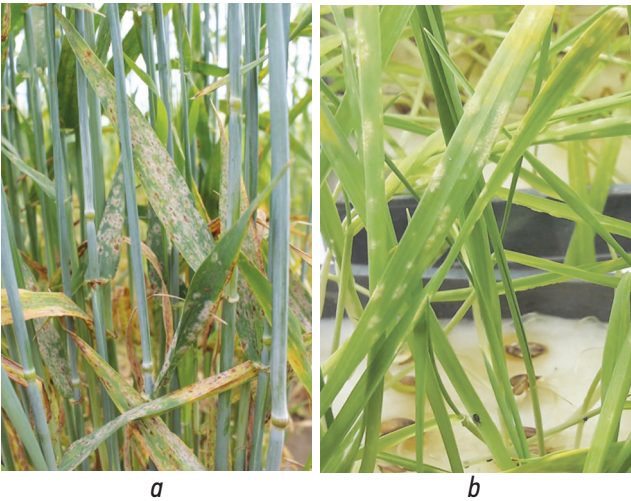


Рис. 1. Симптомы мучнистой росы на голозерном ячмене в полевых условиях в фазе молочной спелости зерна (а) и в фазе проростков в лаборатории (б)
Fig. 1. Powdery mildew symptoms on naked barley in the field at the milky stage of grain ripeness (a) and at the seedling stage in the laboratory (b)

быть и более многочисленными, но мелкие, в виде слабого налета); 9 — очень высокая (поражение отсутствует). При этом устойчивость к мучнистой росе оценивали по максимальному поражению растений патогеном за трехлетний период исследования.

Образцы, характеризующиеся высокой и средней степенью устойчивости в полевых условиях в фазу молочной спелости, оценили в фазе проростков при инокуляции в лаборатории (рис. 1). Для этого по 15 зерен каждого образца высевали в пластиковые кюветы на смоченную водой вату и помещали в климатическую камеру Barnstead 845-2 при 16-часовом фотопериоде и температуре 16 °С. Через 7 дней проростки заражали путем стряхивания на них конидий гриба. В качестве инокулюма использовали

северо-западную популяцию патогена, которую поддерживали на восприимчивом сорте Белогорский. Ежедневно для создания повышенной влажности растения опрыскивали проточной водой из водораспылителя. Контролем устойчивости служил сорт Solist, который характеризуется наличием рецессивного аллеля *mlo11* [15]. Тип реакции на заражение в лабораторных условиях оценивали с помощью шкалы E.B. Mains, S.M. Dietz (1930): 0 — иммунный (нет видимого мицелия); 1 — высокоустойчивый (слабое развитие мицелия); 2 — умеренно устойчивый (умеренное развитие мицелия); 3 — умеренно восприимчивый (умеренное развитие мицелия и умеренная споруляция); 4 — высоко восприимчивый (обильное развитие мицелия, обильная споруляция) [16].

У выделившихся в лабораторных условиях устойчивых генотипов и гетерогенных образцов с различным уровнем резистентности отдельных растений к северо-западной популяции мучнистой росы проводили идентификацию гена *mlo11*, который обеспечивает длительную устойчивость к патогену. Суммарную ДНК выделяли из 3–5 проростков каждого образца с использованием метода SDS [17]. Концентрацию выделенной ДНК контролировали при помощи нанофотометра Implen N60 (Германия). Для идентификации аллеля *mlo11* использовали маркеры ADUP7-Mlo6 и Mlo6-Mlo10 [18], характеристика которых представлена в табл. 2. ПЦР проводили в реакционной смеси объемом 25 мкл, которая содержала 50 нг матричной ДНК, ×1 реакционный буфер (Диалат, Россия), 2 мМ MgCl₂, по 0,2 мМ каждого dNTP's, по 0,25 мкМ прямого и обратного праймеров (Евроген, Россия) и 1 единицу Taq-полимеразы (Диалат, Россия). Амплификацию выполняли на приборе MiniAmp Plus (Thermo FS, США). ПЦР-продукты разделяли электрофорезом в 1,5 % агарозном геле при напряжении 5 В/см в течение 1,5 ч. Гели окрашивали бромистым этидием и визуализировали

Таблица 2. Праймеры для идентификации аллеля *mlo11* у ячменя, использованные в исследовании
Table 2. Primers for *mlo11* allele identification in barley

Название праймера	Нуклеотидная последовательность 5'→3'	Программа	Фрагмент — целевой аллель
ADUP7	CTCAAGCTTGCCACCATGTCGGACAAAAAGGG	94 °C — 3 мин 30 с; 37 циклов (94 °C — 45 с, 47 °C — 45 с, 72 °C — 1 мин); 72 °C — 7 мин	1200 п.н. — <i>mlo11</i>
Mlo6	CATCTACTACTAGCATGTACC		
Mlo10	GTCCTGCCACCTAAGTAGCAG	94 °C — 3 мин 30 с; 37 циклов (94 °C — 45 с, 54 °C — 45 с, 72 °C — 1 мин); 72 °C — 7 мин	440 п.н. — <i>mlo11</i> 380 п.н. — <i>Mlo11</i>
Mlo6	CATCTACTACTAGCATGTACC		

в УФ-свете. Для оценки размера фрагментов использовали ДНК-маркер FastRuler Middle Range DNA Ladder (Fermentas).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Наиболее сильное развитие *B. graminis* на посевах ячменя наблюдалось в фазу молочной спелости зерна 2022 и 2023 гг. Оценка изучаемого набора из 271 голозерного образца показала широкое разнообразие ячменя по устойчивости к мучнистой росе на взрослой стадии развития растений. Устойчивыми на естественном фоне оказались 16 образцов, преимущественно из Европы, а также местные формы из Эфиопии, Японии и Индии. Среднюю устойчивость к патогену показали 55 образцов, поражение которых характеризовалось развитием мицелия гриба на нижних, более затененных ярусах растений. Все другие образцы голозерного ячменя сильно восприимчивы к болезни, в том числе и районированные в России голозерные сорта. Среди пленчатого ячменя, устойчивыми оказались три образца, умеренно устойчивыми — 11, все остальные — восприимчивыми.

Выделенные в поле устойчивые и среднеустойчивые голозерные (71 образец) и пленчатые (14) образцы изучили в лабораторных условиях при искусственном заражении растений северо-западной популяцией *B. graminis*. По результатам оценки на ювенильной стадии выявлено 4 высокоустойчивых (0, 1 балл) образца по каталогу ВИР: к-31058 (США) — голозерный; к-31380, к-31488, к-31494 (Германия) — пленчатые сорта современной селекции. Умеренную устойчивость (2 балла) показали 6 генотипов голозерного — к-20923, к-25801 (Германия), к-27165 (Болгария), к-29911 (Польша), к-30231 (США), и один пленчатого ячменя — к-27295 (Германия). Некоторые образцы показали себя как устойчивые к мучнистой росе в полевых условиях на естественном фоне, однако при искусственном заражении сильно поражались грибом. Лишь две изученные формы к-20923 и к-29911 голозерного ячменя оказались высокоустойчивыми в период колошения и умеренно устойчивыми на ювенильной стадии развития растений. Различия по степени поражения многих изученных генотипов на разных фазах развития растений могут быть связаны с генетической системой эффективной

только на стадии взрослых растений (APR — adult plant resistance). Гетерогенными оказались 14 форм голозерного ячменя (табл. 3).

С помощью молекулярного скрининга устойчивых и гетерогенных в лабораторных условиях образцов идентифицировано наличие рецессивного аллеля *mlo11* у 5 пленчатых сортов из Германии, включая контрольный сорт Solist. Среди голозерного ячменя выделено 6 образцов с *mlo11*, происхождением преимущественно из Эфиопии или полученные с использованием образцов из данного центра формообразования культуры (табл. 2, рис. 2). Все образцы, несущие аллель *mlo11*, а также отдельные растения гетерогенных форм характеризовались высокой и средней устойчивостью при искусственном инфекционном фоне. По всей видимости, остальные резистентные

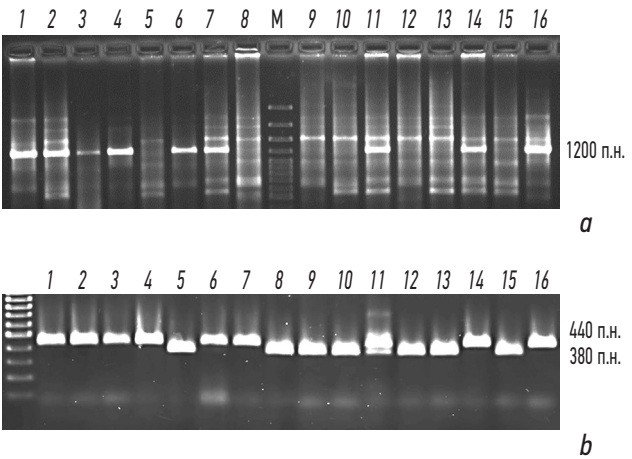


Рис. 2. Идентификация аллельного состава аллеля *mlo11* с использованием маркеров ADUP7 и Mlo6 (a), Mlo6 и Mlo10 (b). Цифрами обозначены образцы ячменя: 1 — к-31494; 2 — к-20923; 3 — к-31332 контроль; 4 — к-31488; 5 — к-31540; 6 — к-31380; 7 — к-20921; 8 — к-29440; 9 — к-25873; 10 — к-29719; 11 — к-25793; 12 — к-25872; 13 — к-19483; 14 — к-29820; 15 — к-31367; 16 — к-29820. M — маркер молекулярного веса 3000 (a) и 1000 (b) п. о.

Fig. 2. Identification of the allelic composition of the *mlo11* allele using the markers ADUP7 and Mlo6 (a) and Mlo6 and Mlo10 (b). The barley accessions are marked: 1 — k-31494; 2 — k-20923; 3 — k-31332 control; 4 — k-31488; 5 — k-31540; 6 — k-31380; 7 — k-20921; 8 — k-29440; 9 — k-25873; 10 — k-29719; 11 — k-25793; 12 — k-25872; 13 — k-19483; 14 — k-29820; 15 — k-31367; 16 — k-29820. M is a molecular weight marker of 3000 (a) and 1000 (b) b.p.

Таблица 3. Образцы ячменя, устойчивые к мучнистой росе на разных стадиях развития растений**Table 3.** Resistant to powdery mildew barley accessions at different stages of plant development

№ по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Разновидность	Устойчивость к мучнистой росе, балл		Наличие аллеля <i>mlo11</i>
				полевые условия (естественный фон), фаза молочной спелости зерна	лабораторные условия, искусственное заражение (фаза проростков)	
Голозерный ячмень						
19483	Nudo Bianco	Италия	<i>coeleste</i>	3	1, 3*	–
20921	Abyssinian 1102=L94	Эфиопия	<i>nigrinudum</i>	5	2, 3	+
20923	Arabische	Германия	<i>duplinigrum</i>	7	2	+
23380	Местный	Боливия	<i>trifurcatum</i>	3	2, 3	–
25793	L94	Эфиопия	<i>nigrinudum</i>	7	1, 4	+
25801	Lasckes Korona	Германия	<i>coeleste</i>	3	2	–
25872	EB1626	Индия	<i>nigrinudum</i>	7	1, 3	–
25873	EB145	Индия	<i>nigrinudum</i>	7	1, 3	–
27080	Белорусский 76	Беларусь	<i>nudum</i>	5	1, 3	+
27156	San Benito-80	Боливия	<i>coeleste</i>	3	1, 2	–
27165	Староместный	Боливия	<i>trifurcatum</i>	3	2	–
27176	CM67-V-Sask 1800C	Боливия	<i>himalayense</i>	3	2, 3	-
28684	EP 79=L 92	Германия	<i>duplialbum</i>	7	1, 3	+
29440	N16	Беларусь	<i>neogenes</i>	5	1, 3	–
29719	Ethionia EP 76	Эфиопия	<i>neogenes</i>	3	1, 3	–
29820	Abyssinian 1105	Бельгия	<i>nigrinudum</i>	5	1, 3	+
29911	Nagiz Podhala 33	Польша	<i>coeleste</i>	7	2	–
30231	OUM5 lzd,=uz	США	<i>coeleste</i>	5	2	–
31058	Thual	США	<i>coeleste</i>	5	1	–
31367	Kornelja	Латвия	<i>nudum</i>	3	2, 4	–
31540	Lotos	Германия	<i>nudum</i>	7	1, 3	–
Пленчатый ячмень						
27295	90391/71	Германия	<i>nigricans</i>	5	2	+
31380	KWS Harris	Германия	<i>nutans</i>	7	1	+
31488	Su Zaza	Германия	<i>nutans</i>	5	1	+
31494	Salome	Германия	<i>nutans</i>	7	0	+
Solist (к-31332, устойчивый контроль)		Германия	<i>nutans</i>	7	0	+
Белогорский (к-22089, восприимчивый контроль)		Россия	<i>pallidum</i>	1	4	–

*Гетерогенный образец (расщепление по устойчивости внутри образца).

*Heterogeneous accession (splitting by resistance within the accession).

к мучнистой росе образцы несут другие эффективные аллели или гены. Устойчивость к *B. graminis* современных пленчатых сортов европейской селекции обусловлена в основном наличием аллеля *mlo11*. Это является одним из факторов преимущества данных сортов перед сортами российской селекции, которые сильно поражаются в полевых условиях. На основе лабораторных и полевых исследований среди гетерогенных форм были отобраны устойчивые к грибу растения.

Для использования выделенных образцов в селекции важно, чтобы исходный материал сочетал сразу несколько хозяйственно ценных признаков. Все образцы изучали в течение 3 лет в полевых условиях для выявления хозяйственно ценных признаков (табл. 4). Продолжительность вегетационного периода — важный биологический признак ячменя, в значительной степени определяющий его продуктивность. По срокам созревания преобладающая часть образцов относится к раннеспелым и среднеспелым. Наиболее интересными для северо-запада России являются скороспелые образцы, так как короткий период вегетации позволяет избежать сильного развития заболеваний и неблагоприятных погодных условий в период уборки. Среди устойчивых к мучнистой росе форм выделены скороспелые образцы к-20923, к-25793 и к-28684, у которых на протяжении трехлетнего изучения продолжительность вегетационного периода практически не изменялась.

Следует отметить, что засушливые погодные условия 2021 г. были неблагоприятными для оценки устойчивости к полеганию, так как отсутствовали факторы, его вызывающие (обильные дожди и сильный ветер). Ливневые дожди в период вегетации 2022 и 2023 гг. привели к сильному полеганию большей части посевов, что позволило выявить устойчивые формы по этому признаку. Таким образом, устойчивыми к полеганию были современные пленчатые сорта к-31488, к-31494 из Германии, а также два голозерных образца к-20923 и к-31540. Сорт к-27080 (Белорусский 76) из Беларуси, устойчивый к мучнистой росе и характеризующийся наличием аллеля *mlo11*, также является носителем аллеля короткостебельности *sdw1.d* гена *sdw1* и характеризуется как среднеустойчивый к полеганию [19].

Зерновая продуктивность — наиболее важное свойство сорта, являющаяся целью всего сельскохозяйственного производства. Наиболее урожайными показали себя шестирядные голозерные образцы преимущественно из США и Европы. Урожайность некоторых резистентных к *B. graminis* образцов (к-31540, к-31058, к-28684) не сильно уступает пленчатым образцам, что говорит об их потенциальной возможности стать источниками продуктивности в Северо-Западном регионе. Образцы к-20923, к-28684 и к-29911 выделяются как засухоустойчивые, так как в засушливый и нетипичный 2021 г. давали примерно одинаковый урожай по сравнению с 2022 и 2023 гг.

Таким образом, сравнительная оценка голозерного ячменя с пленчатым показала слабое разнообразие по

признаку резистентности к *B. graminis*, однако выявлены уникальные образцы, которые могут выступать в качестве исходного материала для создания высокоустойчивых сортов. В условиях Северо-Западного региона России выделены образцы голозерного ячменя, которые не только устойчивы к мучнистой росе, но и обладают другими ценными характеристиками и могут быть рекомендованы для дальнейшего использования в селекции. Такая комплексная работа по изучению значительной части голозерного ячменя из коллекции ВИР проводится впервые.

ОБСУЖДЕНИЕ

По данным А. Dreiseitl, аллель *mlo11* широко используется в европейской селекции и присутствует в большей части сортов, зарегистрированных в Чехии с 2011 по 2015 г. [12]. В то же время А. Dreiseitl показал, что за пределами Европы аллель *mlo11* в современных сортах ячменя встречается значительно реже [20]. Эти данные соотносятся с результатами нашей работы: большая часть устойчивых к мучнистой росе современных зарубежных пленчатых сортов, поступающих из Европы и хранящихся в коллекции ВИР, характеризуется наличием *mlo11*. Этот аллель активно используется с середины 1970-х годов как надежный и эффективный источник устойчивости к *B. graminis*. Однако многие селекционеры обеспокоены чрезмерной зависимостью селекции ячменя всего лишь от одного гена устойчивости, что оказывает сильное давление отбора на патоген, вызывая появление новой вирулентности. Разный уровень проявления устойчивости к мучнистой росе образцов с идентифицированным аллелем *mlo11* на северо-западе России был показан нами ранее [15] и подтвержден в данной работе. Степень поражения образцов может зависеть от генетической среды, так, показано влияние генов *Ror1* и *Ror2*, наличие которых обуславливает полную устойчивость растений к *B. graminis* [4, 21, 22].

Хотя устойчивость, основанная на *mlo*, обычно очень стабильна в полевых условиях, ряд исследований продемонстрировал влияние погодных условий на растения, защищенные *mlo*. Сильная засуха с последующим внезапным поливом приводила к умеренной восприимчивости таких сортов ячменя [13, 23, 24]. В наших опытах для некоторых среднеустойчивых форм подобную ситуацию можно исключить, так как разница по степени поражения наблюдалась не только в поле, но и в климатической камере.

Ячмень из Абиссинского (Эфиопского) центра разнообразия представляет исключительный интерес и значение в ботанико-географическом и агрономическом отношении, а также является источником многих ценных признаков. В работе А.А. Орлова [25] показано, что ячмень из Абиссинии и Эритреи в практическом отношении характеризуется многими ценными положительными качествами. В том числе в полевых условиях не поражались мучнистой росой и были относительно устойчивы против других

Таблица 4. Характеристика источников устойчивости к мучнистой росе по хозяйственно ценным признакам
Table 4. Characteristics of resistance to powdery mildew sources based on economically valuable traits

№ по каталогу ВИР	Образец	Происхож- дение	Разновидность	Устойчивость к полеганию, балл	Продолжительность вегетационного периода, дни	Урожайность, г/м ²
Голозерный ячмень						
19483	Nudo Bianco	Италия	<i>coeleste</i>	3	71,3 ± 3,4	187 (63–252)*
20921	Abyssinian 1102=L94	Эфиопия	<i>nigrinudum</i>	3	67,7 ± 3,8	147 (59–226)
20923	Arabische	Германия	<i>duplinigrum</i>	7	64,0 ± 0,6	257 (219–292)
23380	Местный	Боливия	<i>trifurcatum</i>	3	75,0 ± 3,1	193 (54–294)
25793	L94	Эфиопия	<i>nigrinudum</i>	3	63,7 ± 1,2	224 (117–372)
25801	Laschkes Korona	Германия	<i>coeleste</i>	3	68,3 ± 1,2	287 (75–411)
25872	EB1626	Индия	<i>nigrinudum</i>	3	77,7 ± 1,8	237 (113–372)
25873	EB145	Индия	<i>nigrinudum</i>	5	79,3 ± 2,2	177 (57–344)
27080	Белорусский 76	Беларусь	<i>nudum</i>	5	78,2 ± 0,7	184 (42–264)
27156	San Benito-80	Боливия	<i>coeleste</i>	5	69,7 ± 3,2	126 (64–208)
27165	Староместный	Боливия	<i>trifurcatum</i>	5	71,0 ± 1,5	163 (86–219)
27176	CM67-V-Sask 1800C	Боливия	<i>himalayense</i>	5	67,3 ± 1,2	179 (152–223)
28684	EP 79=L 92	Германия	<i>duplialbum</i>	5	62,7 ± 1,5	270 (220–334)
29440	N16	Беларусь	<i>neogenes</i>	5	77,7 ± 4,9	196 (121–283)
29719	Ethionia EP 76	Эфиопия	<i>neogenes</i>	5	69,0 ± 3,6	113 (89–134)
29820	Abyssinian 1105	Бельгия	<i>nigrinudum</i>	5	76,0 ± 3,5	187 (84–246)
29911	Nagiz Podhala 33	Польша	<i>coeleste</i>	3	69,3 ± 5,0	257 (235–272)
30231	OUM5 lzd,=uz	США	<i>coeleste</i>	3	69,0 ± 3,2	262 (25–441)
31058	Thual	США	<i>coeleste</i>	3	67,3 ± 2,7	318 (245–434)
31540	Lotos	Германия	<i>nudum</i>	9	72,0 ± 1,0	251 (165–337)
31367	Kornelja	Латвия	<i>nudum</i>	5	67,3 ± 1,7	133 (106–155)
Пленчатый ячмень						
St. 31332	Solist	Германия	<i>nutans</i>	7	76,7 ± 2,7	323 (196–432)
27295	90391/71	Германия	<i>nigricans</i>	5	79,3 ± 2,7	256 (64–422)
31380	KWS Harris	Германия	<i>nutans</i>	5	74,3 ± 4,3	468 (350–565)
31488	Su Zaza	Германия	<i>nutans</i>	7	70,7 ± 2,7	312 (253–359)
31494	Salome	Германия	<i>nutans</i>	7	76,3 ± 1,9	273 (210–321)

*В скобках приведен размах изменчивости по годам.
*The range of variability by year is given in parentheses.

грибных болезней — различных видов ржавчины, листовых пятнистостей и головни [25]. В дальнейшем именно из местных образцов Эфиопии были созданы устойчивые к мучнистой росе пленчатые сорта ячменя Atem в 1979 г., Salome в 1981 г. и Apex в 1982 г. [20, 26], которые вошли во многие родословные современных пленчатых сортов с *mlo11*. В изученной нами выборке лишь один сорт голозерного ячменя Белорусский 76 несет аллель *mlo11*, остальные являются местными формами или селекционными линиями. В родословную всех образцов с *mlo11* входит генетический материал ячменей из Эфиопии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение набора из 271 образца голозерного и 30 образцов пленчатого ячменя в условиях Северо-Западного региона России показало разнообразие по уровню устойчивости к мучнистой росе. По результатам комплексного исследования в полевых условиях на естественном фоне и в лаборатории на искусственном инфекционном фоне выделены устойчивые и среднеустойчивые образцы, которые можно рекомендовать как источники устойчивости к мучнистой росе. Среди голозерных форм, на всех стадиях развития растений устойчивостью отличались к-20923

из Германии и к-29911 из Польши. Более 97 % голозерных форм сильно поражались мучнистой росой. Высокой устойчивостью в период колошения и на ювенильной стадии развития растений среди изученных пленчатых сортов характеризовались образцы к-31380 и к-31494 из Германии. Все резистентные пленчатые образцы относятся к современным сортам европейской селекции. Кроме того, среди 14 гетерогенных форм отобраны устойчивые к мучнистой росе растения.

С помощью молекулярного скрининга у всех устойчивых при инокуляции пленчатых сортов идентифицирован аллель *mlo11*. Носителями данного аллеля среди голозерных ячменей являются 5 гетерогенных (к-20921, к-25793, к-27080, к-29440, к-29820) и один умеренно устойчивый (к-20923) образец.

Полученные данные по изучению коллекционных образцов являются необходимым шагом для практического использования генетических ресурсов ячменя в селекционных программах. Источники устойчивости ярового ячменя к мучнистой росе, описанные в этом исследовании, могут быть успешно использованы для создания новых сортов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Личный вклад каждого автора: К.А. Лукина — сбор и обработка материалов, полевое и лабораторное изучение, анализ полученных данных, написание текста; Р.А. Абдуллаев — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материалов, лабораторное изучение, анализ полученных данных, написание текста; Н.В. Алпатьева — сбор и обработка материалов, лабораторное изучение, анализ полученных данных;

И.Г. Лоскутов — концепция и дизайн исследования, анализ полученных данных, привлечение финансирования, внесение окончательной правки; О.Н. Ковалева — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, обзор литературы, внесение окончательной правки.

Источник финансирования. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-00005, <https://rscf.ru/project/23-76-00005/>

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFO

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study. Personal contribution of each author: K.A. Lukina — collecting and preparation of samples, field and laboratory research, data analysis, writing the main part of the text; R.A. Abdullaev — experimental design, collecting and preparation of samples, laboratory research, data analysis, writing the main part of the text; N.V. Alpatieva — collecting and preparation of samples, laboratory research, data analysis; I.G. Loskutov — experimental design, data analysis, funding acquisition, funding acquisition, making final edits; O.N. Kovaleva — experimental design, collecting and preparation of samples, data analysis, literature review, making final edits.

Funding source. The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 23-76-00005, <https://rscf.ru/project/23-76-00005/>

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукьянова М.В., Трофимовская А.Я., Гудкова Г.Н., и др. Культурная флора СССР. Т. II, ч. 2. Ячмень. Ленинград: Агропромиздат, 1990.
2. Филиппов Е.Г., Дорошенко Э.С. Голозерный ячмень: состояние изученности и перспективы использования (обзор литературы) // Зерновое хозяйство России. 2015. № 4. С. 8–12. EDN: UHLCOP
3. Министерство сельского хозяйства РФ, ФГБУ «Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений». Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023.
4. Kusch S., Panstruga R. *mlo*-Based resistance: an apparently universal «weapon» to defeat powdery mildew disease // Mol Plant Microbe Interact. 2017. Vol. 30, N 3. P. 179–189. doi: 10.1094/MPMI-12-16-0255-CR
5. Tratwal A., Bocianowski J. *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* virulence frequency and the powdery mildew incidence on spring barley in the Wielkopolska province // J Plant Protect Res. 2014. Vol. 54, N 1. P. 28–35. doi: 10.2478/jppr-2014-0005
6. Kauppi K., Rajala A., Huusela E., et al. Impact of pests on cereal grain and nutrient yield in boreal growing conditions // Agronomy. 2021. Vol. 11, N 3. ID 592. doi: 10.3390/agronomy11030592
7. Wei F., Gobelman-Werner K., Morroll S.M., et al. The *Mla* (powdery mildew) resistance cluster is associated with three NBS-LRR gene families and suppressed recombination within a 240-kb DNA interval on chromosome 5S (1HS) of barley // Genetics. 1999. Vol. 153, N 4. P. 1929–1948. doi: 10.1093/genetics/153.4.1929
8. Jørgensen I.H. Discovery characterization and exploitation of *Mlo* powdery mildew resistance in barley // Euphytica. 1992. Vol. 63, N1–2. P. 141–152. doi: 10.1007/BF00023919
9. Schonfeld M., Ragni A., Fischbeck G., Jahoor A. RFLP mapping of three new loci for resistance genes to powdery mildew (*Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*) in barley // Theor Appl Genet. 1996. Vol. 93, N 1–2. P. 48–56. doi: 10.1007/s001220050246

10. Абдуллаев Р.А., Лебедева Т.В., Алпатьева Н.В., и др. Устойчивость образцов ячменя из Дагестана к мучнистой росе // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 5. С. 528–533. EDN: JMOB00 doi: 10.18699/VJ21.059
11. Радченко Е.Е., Абдуллаев Р.А., Анисимова И.Н. Генетическое разнообразие зерновых культур по устойчивости к мучнистой росе // Экологическая генетика. 2020. Т. 18, № 1. С. 59–78. EDN: DPGVZR doi: 10.17816/ecogen14530
12. Dreiseitl A. Genes for resistance to powdery mildew in European barley cultivars registered in the Czech Republic from 2011 to 2015 // Plant Breed. 2017. Vol. 136, N 3. P. 351–356. doi: 10.1111/pbr.12471
13. Baker S.J., Newton A.C., Gurr S.J. Cellular characteristics of temporary partial breakdown of *mlo*-resistance in barley to powdery mildew // Physiol Mol Plant Pathol. 2000. Vol. 56, N 1. P. 1–11. doi: 10.1006/pmpp.1999.0242
14. Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР, 2012.
15. Абдуллаев Р.А., Баташева Б.А., Алпатьева Н.В., 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. Т. 181, № 3. С. 120–127. EDN: COHCJU doi: 10.30901/2227-8834-2020-3-120-127
16. Mains E.B., Dietz S.M. Physiologic forms of Barley mildew, *Erysiphe graminis hordei* // Phytopathology. 1930. Vol. 20, N 3. P. 229–239.
17. Дорохов Д.Б., Клоке Э. Быстрая и экономичная технология RAPD анализа растительных геномов // Генетика. 1997. Т. 33, № 4. С. 443–450. EDN: MOXWJJ
18. Piffanelli P., Ramsay L., Waugh R., et al. A barley cultivation-associated polymorphism conveys resistance to powdery mildew // Nature. 2004. Vol. 430, N 7002. P. 887–891. doi: 10.1038/nature02781
19. Lukina K.A., Porotnikov I.V., Antonov O.Y., Kovaleva O.N. Determination of the Allelic composition of the *sdw1/denso* (*HvGA20ox2*), *uzu1* (*HvBR11*) and *ari-e* (*HvDep1*) genes in spring barley accessions from the VIR collection // Plants. 2024. Vol. 13, N 3. ID 376. doi: 10.3390/plants13030376
20. Dreiseitl A. Mlo-Mediated broad-spectrum and durable resistance against powdery mildews and its current and future applications // Plants. 2024. Vol. 13, N 1. ID 138. doi: 10.3390/plants13010138
21. Jørgensen J.H., Mortensen K. Primary infection by *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* of barley mutants with resistance genes in the *mlo* locus // Phytopathology. 1977. Vol. 67. P. 678–685. doi: 10.1094/Phyto-67-678
22. Freialdenhoven A., Peterhansel C., Kurth J., et al. Identification of genes required for the function of non-race-specific *mlo* resistance to powdery mildew in barley // Plant Cell. 1996. Vol. 8, N 1. P. 5–14. doi: 10.1105/tpc.8.1.5
23. Newton A.C., Young I.M. Temporary partial breakdown of *Mlo*-resistance in spring barley by the sudden relief of soil water stress // Plant Pathol. 1996. Vol. 45, N 5. P. 973–977. doi: 10.1111/j.1365-3059.1996.tb02908.x
24. Baker S.J., Newton A.C., Crabb D., et al. Temporary partial breakdown of *mlo*-resistance in spring barley by sudden relief of soil water-stress under field conditions: The effects of genetic background and *mlo* allele // Plant Pathol. 1998. Vol. 47, N 4. P. 401–410. doi: 10.1046/j.1365-3059.1998.00261.x
25. Орлов А.А. Ячмени Абиссинии и Эритреи // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1929. Т. 20. С. 283–345.
26. Berhane L., Semeane Y.F., Gebre H., et al. Exploiting the diversity of barley landraces in Ethiopia // Genet Res Crop Evol. 1997. Vol. 44. P. 109–116. doi: 10.1023/A:1008644901982

REFERENCES

1. Lukyanova MV, Trofimovskaya AY, Gudkova GN, et al. *Cultural flora of the USSR. Vol. II, p. 2. Barley*. Leningrad: Agropromizdat; 1990. (In Russ.)
2. Filippov EG, Doroshenko ES. Hull-less barley: the state of study and prospects of use. *Grain economy of Russia*. 2015;(4):8–12. EDN: UHLCOF
3. Ministry of Agriculture of the Russian Federation, FGBU "State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Breeding Achievements". *The State register of breeding achievements approved for use. Vol. 1. "Plant varieties" (official edition)*. Moscow: Rosinformagroteh; 2023. (In Russ.)
4. Kusch S, Panstruga R. *mlo*-Based resistance: an apparently universal "weapon" to defeat powdery mildew disease. *Mol Plant Microbe Interact*. 2017;30(3):179–189. doi: 10.1094/MPMI-12-16-0255-CR
5. Tratwal A, Bocianowski J. *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* virulence frequency and the powdery mildew incidence on spring barley in the Wielkopolska province. *J Plant Protect Res*. 2014;54(1):28–35. doi: 10.2478/jppr-2014-0005
6. Kauppi K, Rajala A, Huusela E, et al. Impact of pests on cereal grain and nutrient yield in boreal growing conditions. *Agronomy*. 2021;11(3):592. doi: 10.3390/agronomy11030592
7. Wei F, Gobelmann-Werner K, Morroll SM, et al. The *Mla* (powdery mildew) resistance cluster is associated with three NBS-LRR gene families and suppressed recombination within a 240-kb DNA interval on chromosome 5S (1HS) of barley. *Genetics*. 1999;153(4):1929–1948. doi: 10.1093/genetics/153.4.1929
8. Jørgensen IH. Discovery characterization and exploitation of *Mlo* powdery mildew resistance in barley. *Euphytica*. 1992;63(1–2):141–152. doi: 10.1007/BF00023919
9. Schonfeld M, Ragni A, Fischbeck G, Jahoor A. RFLP mapping of three new loci for resistance genes to powdery mildew (*Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*) in barley. *Theor Appl Genet*. 1996;93(1–2):48–56. doi: 10.1007/s001220050246
10. Abdullaev RA, Lebedeva TV, Alpatieva NV, et al. Powdery mildew resistance of barley accessions from Dagestan. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(5):528–533. EDN: JMOB00 doi: 10.18699/VJ21.059
11. Radchenko EE, Abdullaev RA, Anisimova IN. Genetic diversity of cereal crops for powdery mildew resistance. *Ecological genetics*. 2020;18(1):59–78. EDN: DPGVZR doi: 10.17816/ecogen14530
12. Dreiseitl A. Genes for resistance to powdery mildew in European barley cultivars registered in the Czech Republic

- lic from 2011 to 2015. *Plant Breed.* 2017;136(3):351–356. doi: 10.1111/pbr.12471
13. Baker SJ, Newton AC, Gurr SJ. Cellular characteristics of temporary partial breakdown of *mlo*-resistance in barley to powdery mildew. *Physiol Mol Plant Pathol.* 2000;56(1):1–11. doi: 10.1006/pmpp.1999.0242
14. Loskutov IG, Kovaleva ON, Blinova EV. *Methodological guidelines for the study and conservation of the world collection of barley and oats.* Saint Petersburg: VIR, 2012. (In Russ.)
15. Abdullaev RA, Batasheva BA, Alpatieva NV, 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. EDN: COHCJU doi: 10.30901/2227-8834-2020-3-120-127
16. Mains EB, Dietz SM. Physiologic forms of Barley mildew, *Erysiphe graminis hordei*. *Phytopathology.* 1930;20(3):229–239.
17. Dorokhov DB, Klocke E. A rapid and economic technique for RAPD analysis of plant genomes. *Russian Journal of Genetics.* 1997;33(4):443–450. EDN: MOXWJJ
18. Piffanelli P, Ramsay L, Waugh R, et al. A barley cultivation-associated polymorphism conveys resistance to powdery mildew. *Nature.* 2004;430(7002):887–891. doi: 10.1038/nature02781
19. Lukina KA, Porotnikov IV, Antonov OY, Kovaleva ON. Determination of the Allelic composition of the *sdw1/denso* (*HvGA-20ox2*), *uzu1* (*HvBR11*) and *ari-e* (*HvDep1*) genes in spring barley accessions from the VIR collection. *Plants.* 2024;13(3):376. doi: 10.3390/plants13030376
20. Dreiseitl A. Mlo-Mediated broad-spectrum and durable resistance against powdery mildews and its current and future applications. *Plants.* 2024;13(1):138. doi: 10.3390/plants13010138
21. Jørgensen JH, Mortensen K. Primary infection by *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* of barley mutants with resistance genes in the *ml-o* locus. *Phytopathology.* 1977;67:678–685. doi: 10.1094/Phyto-67-678
22. Freialdenhoven A, Peterhansel C, Kurth J, et al. Identification of genes required for the function of non-race-specific *mlo* resistance to powdery mildew in barley. *Plant Cell.* 1996;8(1):5–14. doi: 10.1105/tpc.8.1.5
23. Newton AC, Young IM. Temporary partial breakdown of *Mlo*-resistance in spring barley by the sudden relief of soil water stress. *Plant Pathol.* 1996;45(5):973–977. doi: 10.1111/j.1365-3059.1996.tb02908.x
24. Baker SJ, Newton AC, Crabb D, et al. Temporary partial breakdown of *mlo*-resistance in spring barley by sudden relief of soil water-stress under field conditions: The effects of genetic background and *mlo* allele. *Plant Pathol.* 1998;47(4):401–410. doi: 10.1046/j.1365-3059.1998.00261.x
25. Orlov AA. Barley of Abyssinia and Eritrea. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding.* 1929;20:283–345. (In Russ.)
26. Berhane L, Semeane YF, Gebre H, et al. Exploiting the diversity of barley landraces in Ethiopia. *Genet Res Crop Evol.* 1997;44:109–116. doi: 10.1023/A:1008644901982

ОБ АВТОРАХ

***Ксения Андреевна Лукина;** адрес: Россия, 190031, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42, 44; ORCID: 0000-0001-5477-8684; eLibrary SPIN: 7294-7603; e-mail: k.lukina@vir.nw.ru

Ренат Абдуллаевич Абдуллаев, канд. биол. наук; ORCID: 0000-0003-1021-7951; eLibrary SPIN: 3377-2241; e-mail: abdullaev.1988@list.ru

Наталья Владимировна Алпатьева, канд. биол. наук; ORCID: 0000-0002-5531-2728; eLibrary SPIN: 9882-0850; e-mail: alpatievanatalia@mail.ru

Игорь Градиславович Лоскутов, д-р биол. наук; ORCID: 0000-0002-9250-7225; eLibrary SPIN: 2715-2082; e-mail: i.loskutov@vir.nw.ru

Ольга Николаевна Ковалева, канд. биол. наук; ORCID: 0000-0002-3990-6526; eLibrary SPIN: 6676-5316; e-mail: o.kovaleva@vir.nw.ru

AUTHORS' INFO

***Kseniia A. Lukina;** address: 42, 44 Bolshaya Morskaya st., Saint Petersburg, 190031, Russia; ORCID: 0000-0001-5477-8684; eLibrary SPIN: 7294-7603; e-mail: k.lukina@vir.nw.ru

Renat A. Abdullaev, Cand. Sci. (Biology); ORCID: 0000-0003-1021-7951; eLibrary SPIN: 3377-2241; e-mail: abdullaev.1988@list.ru

Natalia V. Alpatieva, Cand. Sci. (Biology); ORCID: 0000-0002-5531-2728; eLibrary SPIN: 9882-0850; e-mail: alpatievanatalia@mail.ru

Igor G. Loskutov, Dr. Sci. (Biology); ORCID: 0000-0002-9250-7225; eLibrary SPIN: 2715-2082; e-mail: i.loskutov@vir.nw.ru

Olga N. Kovaleva, Cand. Sci. (Biology); ORCID: 0000-0002-3990-6526; eLibrary SPIN: 6676-5316; e-mail: o.kovaleva@vir.nw.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author