

Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 2. С. 226-238.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2023. Vol. 106, no 2. P. 226-238.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья
УДК 633.16:632.4(470.56)
doi:10.33284/2658-3135-106-2-226

Устойчивость образцов ячменя оренбургской селекции к основным заболеваниям

Антонина Александровна Новикова¹, Ольга Сергеевна Гречишкина², Александр Алексеевич Зоров³,
Ольга Викторовна Богданова⁴

¹²³⁴Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹tony-novikova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6947-9262>

²vip.olga1979@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4054-3048>

³zorov78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9995-378X>

⁴olga_bogdanova_1995@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6837-9905>

Аннотация. Исследования с целью оценки образцов ярового ячменя на предмет идентификации генотипов, несущих гены устойчивости к основным грибным заболеваниям региона, проводили в Оренбургской области в 2021-2022 гг. У 60 сортов и перспективных линий ярового ячменя оренбургской селекции с помощью молекулярных маркеров проанализировали наличие генов устойчивости к стеблевой (*Rpg1*) и карликовой (*Rph7*) ржавчине, пыльной (*Un8*) и твердой (*Ruh*) головне. ДНК отобранных образцов для постановки полимеразной цепной реакции (ПЦР) выделяли из 5-дневных проростков. В полевом эксперименте оценивали устойчивость к болезням у этих же сортов на естественном инфекционном фоне. Метеоусловия лет исследования были благоприятны для развития заболеваний. В общей сложности 75 % исследуемых образцов несли в своем генотипе по одному гену устойчивости к головневым или ржавчинным болезням. Среди генотипов, несущих аллели гена *Un8*, оказались 52 % исследуемого материала. 12 образцов оказались источниками аллелей гена *Rph7*. Носители гена *Ruh* составили всего 3 %. Изучение устойчивости образцов ячменя в полевых исследованиях в большей степени подтвердило эффективность применения ДНК-технологий в рамках поиска доноров хозяйственно ценных признаков.

Ключевые слова: яровой ячмень, *Hordeum vulgare*, ПЦР-анализ, молекулярные маркеры, головневые болезни, ржавчинные болезни, устойчивость, биотический стресс

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в форме субсидии на создание селекционно-семеноводческого центра, проект № 075-15-2021-563.

Для цитирования: Устойчивость образцов ячменя оренбургской селекции к основным заболеваниям / А.А. Новикова, О.С. Гречишкина, А.А. Зоров, О.В. Богданова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 2. С. 226-238. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-2-226>

GEOPONICS AND CROP PRODUCTION

Original article

Resistance of barley samples of the Orenburg selection to major diseases

Antonina A Novikova¹, Olga S Grechishkina², Alexander A Zorov³, Olga V Bogdanova⁴

¹²³⁴Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹tony-novikova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6947-9262>

²vip.olga1979@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4054-3048>

³zorov78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9995-378X>

⁴olga_bogdanova_1995@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6837-9905>

Abstract. Studies to evaluate spring barley samples for the identification of genotypes carrying resistance genes to the main fungal diseases¹ of the region were carried out in the Orenburg region in 2021-2022. 60 varieties and promising lines of spring barley of Orenburg selection were analyzed using mo-

lecular markers for the presence of resistance genes to stem (*Rpg1*) and dwarf (*Rph7*) rust, dusty (*Un8*) and solid (*Ruh*) smut. DNA of the selected samples was isolated from 5-day-old seedlings for polymerase chain reaction (PCR). In a field experiment, disease resistance was evaluated in the same varieties against a natural infectious background. The weather conditions of the years of the study were favorable for the development of diseases. In total, 75% of the studied samples carried one gene of resistance to smut or rust diseases in their genotype. 52% of the studied material was among the genotypes carrying alleles of *Un8* gene. 12 samples turned out to be sources of alleles of *Rph7* gene. Carriers of *Ruh* gene accounted for only 3%. The study of the resistance of barley samples in field studies has largely confirmed the effectiveness of the use of DNA technologies in the search for donors of economically valuable traits.

Keywords: spring barley, *Hordeum vulgare*, PCR analysis, molecular markers, smut diseases, rust diseases, resistance, biotic stress

Acknowledgments: the work was supported by Department of Science and High Education of Russian Federation in the form of a subsidy for the creation of a breeding and seed center, project No. 075-15-2021-563.

For citation: Novikova AA, Grechishkina OS, Zorov AA, Bogdanova OV. Resistance of barley samples of the Orenburg selection to major diseases. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(2):226-238. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-2-226>

Введение.

Ячмень – основная кормовая культура Оренбургского региона. В отдельные годы ячмень может формировать урожай от 5,0 до 5,5 т/га. Постоянной реализации такого уровня продуктивности препятствует ряд факторов, один из которых – биотический стресс. В условиях засухи сорта поражают головневые болезни, при влажной погоде – ржавчинные грибы и листовые болезни (Сурин Н.А. и др., 2017). В связи с этим для неустойчивых климатических условий периода вегетации ячменя в Оренбургском Предуралье актуальной остаётся задача создания и широкого внедрения новых сортов, обладающих экологической устойчивостью к наиболее вредоносным болезням (Максимов Р.А., 2021; Асхадуллин Д. и др., 2019).

Среди многочисленных возбудителей заболеваний зерновых сельскохозяйственных культур грибы, вызывающие головневые и ржавчинные болезни, обладают наибольшей вредоносностью в связи с тем, что повсеместно распространены. При благоприятных для развития гриба погодных условиях заболевание принимает характер эпифитотии. Интенсивное развитие болезни уменьшает засухоустойчивость растений и ведёт к образованию щуплого зерна. Наряду с прямыми потерями урожая болезни вызывают скрытые повреждения, которые проявляются в снижении всхожести семян, высоты стебля, длины колоса. Заражённые семена имеют меньшую абсолютную массу (на 10-20 %), у поражённых растений увеличивается восприимчивость к другим болезням (Menzies J et al., 2010)

Стеблевая или линейная ржавчина (*Puccinia graminis*) – основное заболевание зерновых культур в Оренбургском регионе. Потери урожая при распространении этого заболевания могут превышать 50 %. Создание устойчивых к этому заболеванию сортов – приоритетная задача селекции как в России, так и в других странах (Mahesha H et al., 2022).

Возбудитель карликовой ржавчины (*Puccinia hordei*) поражает листья и листовые влагалища. Карликовую ржавчину не считают серьёзной проблемой для степной зоны Оренбургского Предуралья, так как высокие летние температуры (выше +30 °С) приводят к ослаблению эпифитотии. Однако формирование комплексной устойчивости, в том числе и к этому заболеванию, может стать перспективным направлением в селекции ярового ячменя для расширения зоны возделывания сортов оренбургской селекции.

В Оренбургской области в посевах ярового ячменя встречается два вида головни – твёрдая (*Ustilago hordei* (Pers.) Kell. et Sw) и пыльная (*Ustilago nuda* (Jens.) Kell. et Sw). Явные потери при развитии этих заболеваний связаны с разрушением колоса растения и нарушением нормального течения биохимических процессов растительной клетки, вызванных развитием патогенов (Бехтольд Н.П. и Орлова Е.А., 2018).

Генетику устойчивости ярового ячменя к болезням грибного происхождения активно изучают, в связи с чем количество предполагаемых генов резистентности ежегодно увеличивается (Ardiel GS et al., 2002). Ген устойчивости к пыльной головне доминантен, а сама болезнь, в большинстве случаев, имеет моногенную основу. На сегодняшний день установлено несколько генов, определяющих различную степень устойчивости к видам головни (Grewal TS et al., 2004). Один из них, *Un8*, определяет устойчивость к наиболее известным расам пыльной головни *Ustilago nuda* (Grewal TS et al., 2008a) и представлен в геноме большинства устойчивых сортов ярового ячменя (Grewal TS et al., 2008b). Для идентификации устойчивости к расам твёрдой головни *Ustilago hordei* используют ген *Ruh* (Sharma Poudel R et al., 2018).

На сегодняшний день у ячменя охарактеризовано восемь генов устойчивости к стеблевой ржавчине (Figueroa M et al., 2023), при этом устойчивость к стеблевой ржавчине у ячменя была в значительной степени достигнута путём широкого использования одного гена устойчивости (*Rpg1*), ранее обозначенного как Т-ген (Derevnina L et al., 2014). Этот ген остаётся одним из наиболее эффективных во многих регионах мира и широко использовался для создания устойчивых к стеблевой ржавчине сортов ячменя (Gill U et al., 2016).

Цель исследований.

Оценка образцов ярового ячменя на предмет идентификации генотипов, несущих гены устойчивости к пыльной и твёрдой головне, карликовой и стеблевой ржавчине.

Материалы и методы исследования.

Объект исследований. 12 сортов и 48 линий конкурсного испытания ярового ячменя оренбургской селекции.

Характеристика территорий, природно-климатические условия. Полевые работы проводили в Оренбургской области (пос. Чебеньки) в 2021-2022 гг. Почва опытного участка – чернозём обыкновенный, среднесиловой, средне- и малогумусный (4,69-7,60 %, ГОСТ 26213-91). Обеспеченность азотом низкая (34,8 мг/кг почвы, ГОСТ Р 58596-2019), фосфором – средняя (97,2 мг/кг почвы, ГОСТ 26205), калием – повышенная (120 мг/кг почвы, ГОСТ 26205). Предшественник – чистый пар. Учётная площадь делянок – 16,4 м², повторность – трёхкратная. Сортообразцы изучали на естественном инфекционном фоне.

Метеоусловия периодов вегетации в годы исследований различались по температурному режиму (табл. 1) и количеству выпавших осадков (табл. 2).

Таблица 1. Температура и влажность воздуха в период вегетации ячменя, 2021-2022 год
 Table 1. Air temperature and humidity during the growing season of barley, 2021-2022

Месяц / Month	Декады / Decades	Температура воздуха, °C / Air temperature, °C				Влажность воздуха / Air humidity	
		сред- несу- точ- ная / Average daily	отклонение от среднеклима- тической нор- мы / deviation from the average climatic norm	макси- маль- ная / maxi- mum	мини- мальная / mini- mum	средняя относи- тельная, %/ average relative. %	средний дефицит, гПа / aver- age deficit, hPa
1	2	3	4	5	6	7	8
2021 год / 2021 year							
Май / May	I	15,3	1,6	28,0	2,0	42	14
	II	21,0	5,6	36,0	8,0	35	22
	III	22,9	6,2	38,0	8,0	34	24

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Июнь / <i>June</i>	I	20,3	1,4	32,0	6,0	45	16
	II	23,4	2,6	37,0	9,0	32	25
	III	27,2	5,5	42,0	13,0	33	26
Июль / <i>July</i>	I	25,4	3,2	38,0	13,0	38	20
	II	22,8	1,1	37,0	9,0	42	21
	III	22,8	0,5	39,0	6,0	44	19
Август / <i>August</i>	I	25,4	3,6	42,0	9,0	33	27
	II	23,5	3,5	40,0	8,0	27	28
	III	24,2	5,6	39,0	9,0	29	27
Сентябрь / <i>September</i>	I	18,7	2,0	33,0	0	45	13
	II	13,0	-1,2	26,0	-4,0	51	14
	III	12,0	-0,4	21,0	-1,0	57	12
2022 год / 2022 year							
Май / <i>May</i>	I	10,0	-3,7	22,0	-3,0	40	9
	II	11,9	-3,5	19,0	5,0	74	5
	III	14,1	-2,6	28,0	6,0	77	3
Июнь / <i>June</i>	I	18,7	-0,2	29,0	8,0	65	10
	II	19,7	-1,1	32,0	7,0	57	11
	III	18,9	-2,8	34,0	2,0	56	13
Июль / <i>July</i>	I	18,8	-3,4	32,0	9,0	63	10
	II	25,5	3,8	37,0	12,0	52	18
	III	22,3	0	33,0	9,0	65	12
Август / <i>August</i>	I	24,7	2,9	37,0	10,0	50	17
	II	21,5	1,5	35,0	3,0	41	19
	III	24,5	5,9	36,0	7,0	39	22
Сентябрь / <i>September</i>	I	16,8	0,1	37,0	1,0	52	12
	II	15,9	1,7	30,0	1,0	50	11
	III	13,5	1,1	31,0	2,0	65	8

2021 год можно характеризовать как острозасушливый, гидротермический коэффициент (ГТК) составил 0,12 ед. Напротив, 2022 год соответствовал биологическим требованиям ячменя (ГТК=1,05 ед.). Сумма активных температур в период вегетации в 2021 г. превышала среднемноголетнюю (2811,9 °С), а в 2022 г. была незначительно меньше (2366,9 °С, при норме 2395,3 °С).

Таблица 2. Сумма осадков в период вегетации, 2021-2022 год
Table 2. The amount of precipitation during the growing season, 2021-2022

Месяц / <i>Month</i>	Норма, мм / <i>Norm,</i> <i>mm</i>	2021 г. / 2021 year			2022 г. / 2022 year		
		сумма осадков, мм / <i>the amount</i> <i>of precipitation,</i> <i>mm</i>	± к норме / ± <i>to</i> <i>the norm</i>		сумма осадков, мм / <i>the amount</i> <i>of precipitation,</i> <i>mm</i>	± к норме / ± <i>to the norm</i>	
			мм / <i>mm</i>	%		мм / <i>mm</i>	%
Май / <i>May</i>	37	6,1	-30,9	83,5	130,1	93,1	251,6
Июнь / <i>June</i>	44	13,9	-30,1	68,4	21,4	-22,6	51,4
Июль / <i>July</i>	46	15,0	-31,0	67,4	97,0	51	110,9
Август / <i>August</i>	31	0,0	-31,0	100,0	0,6	-30,4	98,0
Сентябрь / <i>September</i>	34	23,3	-10,7	31,5	48,0	14	41,2

Распространённость болезни выражали в процентах от общего числа учтённых растений. Оценку сортов на устойчивость к возбудителю проводили по девятибалльной шкале ВИЗР (Радченко Е.Е. и др., 2008).

Схема эксперимента. Для исследований нами были отобраны три пары праймеров для идентификации двух генов, характеризующих устойчивость ярового ячменя к двум видам ржавчины – стеблевой (*Puccinia graminis*) и карликовой (*Puccinia hordei*), и две пары праймеров – для идентификации устойчивости к пыльной (*Ustilago nuda*) и твёрдой головне (*Ustilago hordei*). Экстракцию геномной ДНК из 5-дневных проростков осуществляли набором для выделения ДНК из растительного материала «ДНК-Экстран-3» (ООО «Синтол», Россия). Количество ДНК определяли в объёме 1 мкл на Флуориметре Qubit 4 (ThermoFIS). Качество выделенной ДНК определяли методом электрофореза в 1,5 % агарозном геле с использованием в качестве стандарта ДНК известной концентрации. Выявление наличия у растений генов устойчивости проводили методом полимеразной цепной реакции (ПЦР). Праймеры, амплифицирующие искомые гены, выбрали по литературным данным (табл. 3).

Таблица 3. Характеристика используемых маркеров
Table 3. Characteristics of the markers used

Ген / Gene	Маркер / Marker	Сиквенс праймера / Primer sequence	Размер ДНК фрагмента, п.н. / DNA fragment size, bp	Источник / Reference
Rph7	Lrk3ph7	GAGCACCTGGCTTGGAGCT TTGAACACAGGTACGCTTGG	261	Brunner P et al., 2000; Scherrer B et al., 2005
	Rpg 1	CGGСТААТСАСАТСААГТАА TTCTCCATTGTCCAACCTC	610	
Rpg1	rpg 1	GGСТААТСАСАТСААГГТТ CCACGACCAA TTATGTTCTG	487	Вильданова Г.В. и др., 2015 / Vildanova GV et al., 2015
	UhR450	GATAAGGATGTTCCGCC CCCGAGGTCCAAAATCAG	442	
Ruh	SM1	CCTCATTTACTAATAACGAAACAAAGTCAA CGTTCTGGTACTTCCTGAGGAAGC	714	Grewal TS et al, 2008; Bekhit M, 2018 Menzies J, 2010

Реакцию проводили в 20 мкл реакционной смеси, содержащей готовый набор для ПЦР 5X ScreenMix-HS (ЗАО Евроген, Россия), по 0,5 мкл прямого и обратного праймера (синтез олигонуклеотидов – ООО Синтол), 1 мкл ДНК образца. Условия ПЦР следующие:

- для выявления аллелей, определяющих устойчивость ячменя к стеблевой ржавчине: начальная денатурация – 3 мин при +94 °С, далее 26 циклов (30 с – +94 °С, 45 с – +58 °С и 1 мин – +72 °С), элонгация – 7 мин при +72 °С.

- для выявления аллелей, определяющих устойчивость ячменя к стеблевой ржавчине: начальная денатурация – 3 мин при +94 °С, далее 25 циклов (30 с – +94 °С, 45 с – +55 °С и 1 мин – +72 °С), элонгация – 7 мин при +72 °С.

- для анализа устойчивости к каменной головне: начальная денатурация – 5 мин при +95 °С; 36 циклов (30 с – +94 °С, 30 с – +52 °С, 1 с – +72 °С), элонгация – 7 мин при +72 °С.

- для анализа устойчивости к пыльной головне: начальная денатурация – 3 мин при +95 °С; 36 циклов (30 с – +94 °С, 30 с – +63 °С, 1 с – +72 °С), элонгация – 7 мин при +72 °С.

Детекцию результатов анализа проводили методом горизонтального электрофореза в 2,5 % агарозном геле в буфере ТАЕ, содержащем этидий бромид. Размеры фрагментов ДНК оценивали в сравнении со стандартным ДНК маркером DNA Ladder (ООО «Евроген», Россия).

Для контроля неспецифической гибридизации праймеров использовали полную реакционную смесь без добавления ДНК. Амплификацию локусов проводили в трёхкратной повторности. В качестве положительных контрольных образцов использовали растения-доноры устойчивости (сорта ярового ячменя с заявленными генами устойчивости к карликовой и стеблевой ржавчине) и сорта-идентификаторы (пыльная и твёрдая головня).

Оборудование и технические средства. Генетический анализ проводили в лаборатории селекционно-генетических исследований в растениеводстве с использованием оборудования ЦКП БСТ РАН <http://цкп-бст.рф>. Амплификацию проводили в термоциклере MyCycler (BioRad, США), визуализацию результатов – на системе видеодокументации Molecular Imager Gel Doc XR (BioRad, США).

Статистическая обработка. Обработку полученных данных выполняли методом дисперсионного анализа (Доспехов Б.А., 2012). Статистический анализ проводили с использованием компьютерной программы «Microsoft Excel» («Microsoft», США).

Результаты исследования.

Анализ результата постановки ПЦР с праймером UhR 450 (ген *Ruh*) показал, что аллели гена, контролирующего устойчивость к твёрдой головне, отсутствуют во всех сортах собственной селекции. Было выделено два образца – Д-1326 и Д-1340, в продуктах ПЦР которых присутствовал искомый ген (табл. 4).

Таблица 4. Молекулярно-генетическая и полевая оценка сортов и линий ярового ячменя по устойчивости к твёрдой головне
Table 4. Molecular genetic and field evaluation of spring barley varieties and lines for resistance to hard smut

Сорт / <i>Variety</i>	Ген <i>Ruh</i> / <i>Ruh gene</i>	Распространённость в посевах, % / <i>Distribution in crops, %</i>	Устойчивость, балл / <i>Resistance, point</i>
Д-1340 / <i>D-1340</i> , Д-1326 / <i>D-1326</i>	+	отсутствует / <i>absent</i>	1
Анна / <i>Anna</i> , Лекарь / <i>Lekar'</i> , Лида / <i>Lida</i> , Натали / <i>Nataly</i> , Оренбургский 15 / <i>Orenburgskiy 15</i> , Первоцелинник / <i>Pervitselinnik</i> , Д-1379 / <i>D-1379</i> , Д-02 / <i>D-02</i> , Д-03 / <i>D-03</i> , Д-06 / <i>D-06</i> , Д-08 / <i>D-08</i> , Д-12 / <i>D-12</i> , Д-13 / <i>D-13</i> , Д-15 / <i>D-15</i> , Д-16 / <i>D-16</i> , Д-17 / <i>D-17</i> , Д-19 / <i>D-19</i> , Д-22 / <i>D-22</i> , Д-26 / <i>D-26</i> , Д-27 / <i>D-27</i> , Д-30 / <i>D-30</i> , Д-31 / <i>D-31</i> , Д-32 / <i>D-32</i> , Д-40 / <i>D-40</i> , Д-41 / <i>D-41</i> , Д-42 / <i>D-42</i> , Д-1384 / <i>D-1384</i>	-	менее 5 / <i>less than 5</i>	1
Губернаторский / <i>Gubernatorskiy</i> , Миар / <i>Miar</i> , Оренбургский 11 / <i>Orenburgskiy 11</i> , Чебенек / <i>Chebenyok</i> , Д-01 / <i>D-01</i> , Д-04 / <i>D-04</i> , Д-05 / <i>D-05</i> , Д-07 / <i>D-07</i> , Д-10 / <i>D-10</i> , Д-11 / <i>D-11</i> , Д-14 / <i>D-14</i> , Д-18 / <i>D-18</i> , Д-20 / <i>D-20</i> , Д-21 / <i>D-21</i> , Д-23 / <i>D-23</i> , Д-24 / <i>D-24</i> , Д-25 / <i>D-25</i> , Д-28 / <i>D-28</i> , Д-33 / <i>D-33</i> , Д-35 / <i>D-35</i> , Д-36 / <i>D-36</i> , Д-37 / <i>D-37</i> , Д-38 / <i>D-38</i> , Д-39 / <i>D-39</i> , Д-43 / <i>D-43</i> , Д-44 / <i>D-44</i>	-	6-20	2
Оренбургский 17 / <i>Orenburgskiy 17</i> , Т 12 / <i>T 12</i> , Д-29 / <i>D-29</i> , Д-34 / <i>D-34</i> , Д-47 / <i>D-47</i>	-	21-40	3

Примечание: «+» – продукт ПЦР амплификации присутствует, «-» – продукт ПЦР амплификации отсутствует

Note: “+” – PCR amplification product present, “-” – PCR amplification product absent

Результаты фитопатологического анализа выявили, что распространённость твёрдой головки в посевах ярового ячменя в среднем за два года изменялась от 0,19 до 29,02 %. В среднем поражение изучаемых сортов составило 7,5 %. Наибольшее распространение твёрдой головки наблюдали у сортов Оренбургский 17 (24,48 %), Т 12 (20,06 %), Губернаторский (14,35 %) и у сортообразцов Д-29 (29,02 %), Д-34 (28,32 %), Д-47 (20,42 %).

У линий Д-1340, Д-1326 симптомы поражения отсутствовали, а сорта Лида, Первоцелинник показали практическую устойчивость к возбудителю: заражение не превышало 0,7 %. У сортов Миар, Оренбургский 11 и Чебенёк отмечали слабую восприимчивость.

Результаты маркирования гена *Rpg1* представлены в таблице 5. Было выявлено, что только один образец Д-1384 имеет доминантный аллель гена *Rpg1*. Остальные образцы являлись носителями рецессивного аллеля *Rpg1*, что характеризует их как восприимчивые к патогену сорта.

Таблица 5. Результаты анализа наборов праймеров, используемых для определения гена *Rph7* и *Rpg1*

Table 5. Results of the analysis of the primer sets used to determine the *Rph7* and *Rpg1* gene

Сортообразец / <i>Variety sample</i>	Ген / <i>Gene</i>		Сортообразец / <i>Variety sample</i>	Ген / <i>Gene</i>	
	<i>Rph7</i>	<i>Rpg1</i>		<i>Rph7</i>	<i>Rpg1</i>
Анна / <i>Anna</i>	-	P / R	Оренбургский 15 / <i>Orenburgskiy 15</i>	-	P
Лекарь / <i>Lekar'</i>	-	P / R	Первоцелинник / <i>Pervotselinnik</i>	-	P / R
Лида / <i>Lida</i>	-	P / R	Д-1326 / <i>D-1326</i>	+	P / R
Натали / <i>Nataly</i>	-	P / R	Д-6 / <i>D-6</i>	-	P / R
Д-1340 / <i>D-1340</i>	-	P / R	Д-8 / <i>D-8</i>	-	P / R
Д-1379 / <i>D-1379</i>	-	P / R	Д-12 / <i>D-12</i>	-	P / R
Д-2 / <i>D-2</i>	-	P / R	Д-13 / <i>D-13</i>	-	P / R
Д-3 / <i>D-3</i>	-	P / R	Д-15 / <i>D-15</i>	-	P / R
Д-22 / <i>D-22</i>	-	P / R	Д-16 / <i>D-16</i>	-	P / R
Д-26 / <i>D-26</i>	+	P / R	Д-17 / <i>D-17</i>	-	P / R
Д-27 / <i>D-27</i>	-	P / R	Д-19 / <i>D-19</i>	-	P / R
Д-30 / <i>D-30</i>	-	P / R	Д-41 / <i>D-41</i>	-	P / R
Д-31 / <i>D-31</i>	-	P / R	Д-42 / <i>D-42</i>	-	P / R
Д-32 / <i>D-32</i>	-	P / R	Д-1384 / <i>D-1384</i>	+	D / D
Д-40 / <i>D-40</i>	-	P / R	Губернаторский / <i>Gubernatorskiy</i>	-	P / R
Миар / <i>Miar</i>	-	P / R	Оренбургский 11 / <i>Orenburgskiy 11</i>	-	P / R
Чебенёк / <i>Chebenyok</i>	-	P / R	Д-01 / <i>D-01</i>	-	P / R
Д-07 / <i>D-07</i>	-	P / R	Д-04 / <i>D-04</i>	-	P / R
Д-10 / <i>D-10</i>	-	P / R	Д-05 / <i>D-05</i>	-	P / R
Д-11 / <i>D-11</i>	-	P / R	Д-20 / <i>D-20</i>	-	P / R
Д-14 / <i>D-14</i>	-	P / R	Д-21 / <i>D-21</i>	-	P / R
Д-18 / <i>D-18</i>	-	P / R	Д-23 / <i>D-23</i>	-	P / R
Д-25 / <i>D-25</i>	-	P / R	Д-24 / <i>D-24</i>	-	P / R
Д-28 / <i>D-28</i>	-	P / R	Д-33 / <i>D-33</i>	-	P / R
Д-36 / <i>D-36</i>	-	P / R	Д-35 / <i>D-35</i>	-	P / R
Д-37 / <i>D-37</i>	-	P / R	Д-39 / <i>D-39</i>	-	P / R
Д-38 / <i>D-38</i>	+	P / R	Д-43 / <i>D-43</i>	-	P / R
Д-44 / <i>D-44</i>	-	P / R	Т 12 / <i>T 12</i>	-	P / R
Оренбургский 17 / <i>Orenburgskiy 17</i>	-	P / R	Д-29 / <i>D-29</i>	-	P / R
Д-34 / <i>D-34</i>	-	P / R	Д-47 / <i>D-47</i>	-	P / R

Примечание: Д – доминантный аллель, Р – рецессивный аллель, «+» – продукт ПЦР амплификации присутствует, «-» – продукт ПЦР амплификации отсутствует

Note: D – dominant allele, R – recessive allele, “+” – PCR amplification product present, “-” – PCR amplification product absent

В полевых условиях оценку исследованных образцов к стеблевой ржавчине проводили первый раз в период колошения, второй – в фазе молочной спелости зерна. Погодные условия 2021 и 2022 гг. несколько сдерживали развитие ржавчинных грибов. В 2021 г. заражённость посевов отсутствовала, все сорта и линии были без видимых признаков заражения. В 2022 г. в период колошения не идентифицировано ни одного растения с признаками заболевания, однако фенотипирование в фазе молочной спелости выявило заражение стеблевой ржавчиной у всех изучаемых сортообразцов, кроме Д-1384, но степень поражения не превышала 1 балла. У линии Д-1384 не обнаружено фенотипических признаков заражения.

Постановка ПЦР на геномной ДНК с использованием маркера Lrk3ph7 (карликовая ржавчина) привела к амплификации фрагмента длиной 261bp у четырёх сортообразцов: Д-1384, Д-26, Д-38 и Д-1326 (табл. 5). Такой результат предполагает, что данные сортообразцы несут ген устойчивости *Rph7*. Проверка в полевых условиях на естественном фоне показала устойчивость к карликовой ржавчине всех исследуемых образцов.

При проведении реакции на выявление гена *Un8*, отвечающего за устойчивость к пыльной головне, продукт характерного фрагмента амплификации размером в 714 bp зафиксирован у 36,7 % образцов. У оставшихся образцов отсутствовали признаки, характеризующие резистентность к болезни (табл. 6).

Таблица 6. Молекулярно-генетическая и полевая оценка образцов ярового ячменя конкурсного питомника по устойчивости к пыльной головне (ген *Un8*)
Table 6. Molecular genetic and field evaluation of spring barley samples from a competitive nursery for resistance to dust smut (*Un8* gene)

Сорт / <i>Variety</i>	Пыльная головня / <i>Dust smut</i>	
	ген <i>Un8</i> / <i>Un8</i> gene	поражение в полевых условиях / defeat in the field conditions
Анна / <i>Anna</i> , Лида / <i>Lida</i> , Оренбургский 17 / <i>Orenburgskiy 17</i> , Д-1379 / <i>D-1379</i> , Д-1326 / <i>D-1326</i> , Д-01 / <i>D-01</i> , Д-15 / <i>D-15</i> , Д-32 / <i>D-32</i> , Д-43 / <i>D-43</i> , Д-24 / <i>D-24</i> , Д-31 / <i>D-31</i> , Д-02 / <i>D-02</i> , Д-30 / <i>D-30</i> , Д-22 / <i>D-22</i> , Д-08 / <i>D-08</i> , Д-29 / <i>D-29</i> , Д-13 / <i>D-13</i> , Д-28 / <i>D-28</i> , Д-05 / <i>D-05</i> , Д-18 / <i>D-18</i> , Д-1384 / <i>D-1384</i> , Д-38 / <i>D-38</i> , Д-40 / <i>D-40</i>	+	нет / <i>no</i>
Губернаторский / <i>Gubernatorskiy</i> , Лекарь / <i>Lekar'</i> , Миар / <i>Miar</i> , Оренбургский 11 / <i>Orenburgskiy 11</i> , Оренбургский 15 / <i>Orenburgskiy 15</i> , Первоцелинник / <i>Pervotselinnik</i> , Т 12 / <i>T 12</i> , Чебенек / <i>Chebennyok</i> , Д-03 / <i>D-03</i> , Натали / <i>Nataly</i> , Д-04 / <i>D-04</i> , Д-05 / <i>D-05</i> , Д-06 / <i>D-06</i> , Д-07 / <i>D-07</i> , Д-11 / <i>D-11</i> , Д-10 / <i>D-10</i> , Д-42 / <i>D-42</i> , Д-23 / <i>D-23</i> , Д-25 / <i>D-25</i> , Д-26 / <i>D-26</i> , Д-27 / <i>D-27</i> , Д-33 / <i>D-33</i> , Д-34 / <i>D-34</i> , Д-35 / <i>D-35</i> , Д-36 / <i>D-36</i> , Д-37 / <i>D-37</i> , Д-39 / <i>D-39</i> , Д-1340 / <i>D-1340</i> , Д-12 / <i>D-12</i> , Д-14 / <i>D-14</i> , Д-16 / <i>D-16</i> , Д-17 / <i>D-17</i> , Д-19 / <i>D-19</i> , Д-20 / <i>D-20</i> , Д-21 / <i>D-21</i> , Д-41 / <i>D-41</i> , Д-44 / <i>D-44</i> , Д-47 / <i>D-47</i>	-	нет / <i>no</i>

Примечание: «-» – отсутствие гена; «+» – наличие гена (фрагмента размером 714 bp)
 Note: “-” – absence of a gene, “+” – presence of a gene (fragment size of 714 bp)

В полевых условиях на естественном инфекционном фоне поражение этих сортообразцов местными расами пыльной головни полностью отсутствовало.

Обсуждение результатов.

Устойчивость ячменя к различным фитопатогенам – один из факторов, определяющих адаптивный потенциал культуры, а создание устойчивых сортов – основное направление селекционной работы по зерновым. Создание сортов ярового ячменя, резистентных к комплексу грибных болезней, требует точную характеристику исходного селекционного материала в конкретных почвенно-климатических условиях и выявление надёжных источников устойчивости (Плотникова Л.Я. и др., 2020). Здесь большая роль принадлежит методам, которые способны диагностировать устойчивость растений к болезням на естественном инфекционном фоне или в лабораторных условиях.

За последние годы произошла заметная интенсификация селекционной работы с использованием инновационных методов (Дубина Е.В. и др., 2018; Корж С.О. и Дубина Е.В., 2022; Кочетов А.А. и др., 2021). К числу последних относят маркер-вспомогательную селекцию (MAS). Внедрение маркерного анализа для решения задач в селекции на устойчивость к болезням позволяет не только отслеживать одновременно несколько целевых генов, но и проводить выбраковку гибридов на ранних этапах селекционного процесса, благодаря чему можно ускорить процесс отбора ценных генотипов (Илюшко М.В. и др., 2022).

Молекулярно-генетическое исследование ячменей оренбургской селекции выявило, что из 60 сортов и линий конкурсного испытания только 4 линии имеют доминантные гены устойчивости по исследуемым заболеваниям. Результаты анализа демонстрируют возможности повышения устойчивости новых сортов за счёт вовлечения в селекционный процесс доноров этих генов.

Изучение полевой устойчивости образцов показало эффективность применения молекулярного маркирования для оценки устойчивости к стеблевой ржавчине и пыльной головне.

Заключение.

Таким образом, проделанная работа несёт ценную информацию о генетическом улучшении устойчивости ячменя к головневым и ржавчинным болезням. В результате изучения выявлен исходный материал для селекции, а именно линия Д-1384, которая является носителем аллелей генов *Rpg1* и *Rph7*, линия Д-1379 – обладатель гена *Rph7*. По устойчивости к твёрдой головне были выделены две линии – Д-1340 и Д-1326, обладающие геном *Ruh*. Особый интерес для селекции на устойчивость к перечисленным болезням представляет линия Д-1326, которая обладает генами устойчивости к твёрдой и пыльной головне, а также к ржавчинам.

Список источников

1. Адаптивный потенциал ячменя Восточно-Сибирской селекции / Н.А. Сурин и др. // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 5. С. 28-31. [Surin NA et al. Adaptive potential of barley of east siberian breeding. Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2017;31(5):28-31. (In Russ.)].
2. Бехтольд Н.П., Орлова Е.А. Вредоносность возбудителя твердой головни ячменя в условиях лесостепи Приобья // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 7. С. 36-39. [Bekhtol'd NP, Orlova EA. Injuriousness of the barley smut agent under conditions of the forest-steppe of the Ob region. Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2018;32(7):36-39. (In Russ.)]. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10708
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с. [Dospikhov BA. Metodika polevogo opyta: (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy). Moscow: Kniga po Trebovaniyu; 2012:352 p. (In Russ.)].
4. Изучение биоразнообразия *Pyricularia oryzae* Cav. в рисосеющих зонах юга России на основе метода ПЦР / Е.В. Дубина и др. // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 10.

С. 19-23. [Dubina EV et al. Study of biodiversity of *Pyricularia oryzae* Cav. by PCR-method in the rice-growing areas in the South of Russia. Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2018;32(10):19-23. (In Russ.)]. doi: 10.24411/0235-2451-2018-11004

5. Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам: метод. пособие / Е.Е. Радченко и др. М.: Россельхозакадемия, 2008. 416 с. [Radchenko EE. Izuchenie geneticheskikh resursov zernovykh kul'tur po ustojchivosti k vrednym organizmam: metod. posobie. Moscow: Rossel'hozakademija; 2008:416 p. (In Russ.)].

6. Корж С.О., Дубина Е.В. Биотехнологические подходы в селекции томата на устойчивость к *Fusarium oxysporum f.sp. Lycopersici* // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 7. С. 31-35. [Korzh SO, Dubina EV. Biotechnological approaches in tomato breeding for resistance to *Fusarium oxysporum f.sp. Lycopersici*. Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2022;36(7):31-35. (In Russ.)]. doi: 10.53859/02352451_2022_36_7_31

7. Максимов Р.А. Множественный регрессионный анализ как способ дифференциации урожайности по фазам роста и развития генотипов ячменя (*Hordeum vulgare* L.) // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 4. С. 29-34. [Maksimov RA. Multiple regression analysis as a way to differentiate yield by the phases of growth and development of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.). Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2021;35(4):29-34. (In Russ.)]. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10404

8. Молекулярно-генетическая оценка селекционного материала ячменя на устойчивость к каменной головне / Г.В. Вильданова, В.И. Блохин, И.С. Ганиева, М.М. Ланочкина // Зерновое хозяйство России. 2015. № 5. С. 30-33. [Vildanova GV, Blokhin VI, Ganieva IS, Lanochkina MM. Molecular genetic assessment of barley selection material on endurance of covered smut (*Ustilago Hordei*). Grain Economy of Russia. 2015;5:30-33. (In Russ.)].

9. Резистентность к каменной головне сортов и коллекционных образцов двурядного ячменя в западной Сибири / Л.Я. Плотникова и др. // Вестник Омского ГАУ. 2020. № 1(37). С. 50-60. [Plotnikova LYa et al. Resistance of two-row barley varieties and collection samples to covered smut in Western Siberia. Vestnik Omskogo GAU. 2020;1(37):50-60. (In Russ.)].

10. Сорт в системе защиты яровой пшеницы от листовых болезней / Д.Ф. Асхадуллин, Д.Ф. Асхадуллин, Н.З. Василова, И.И. Хусаинова, М.Р. Тазутдинова // Вестник Казанского ГАУ. 2019. № 3(54). С. 10-14. [Askhadullin DF, Askhadullin DF, Vasilova NZ, Khusainova II, Tazutdinova MR. A variety in the spring wheat protection system from leafy diseases. Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2019;3(54):10-14. (In Russ.)]. doi: 10.12737/article_5db8423bb4f997.64890554

11. Трансгрессивная селекция: методология ускоренного получения новых форм растений с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных признаков / А.А. Кочетов, Г.В. Мирская, Н.Г. Синявина, К.В. Егорова // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 6. С. 29-37. [Kochetov AA, Mirskaya GV, Sinyavina NG, Egorova KV. Transgressive breeding: a methodology for accelerated creating of new forms of plants with a predictable complex of economically valuable traits. Rossiiskaia Selskokhoziaistvennaia Nauka. 2021;6:29-37. (In Russ.)]. doi: 10.31857/S2500262721060065

12. Устойчивость образцов конкурсного сортоиспытания и сортов риса *Oryza Sativa* L. дальневосточной селекции к пирикулярриозу / М.В. Илюшко, С.С. Гученко, В.Н. Лелявская, С.В. Безмутко, М.В. Ромашова // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 1. С. 19-22. [Ilyushko MV, Guchenko SS, Lelyavskaya VN, Bezmutko SV, Romashova MV. Resistance of far eastern rice *Oryza Sativa* L. varieties and competitive testing samples to pyricularia oryzae cav. Rossiiskaia Selskokhoziaistvennaia Nauka. 2022;1:19-22. (In Russ.)]. doi: 10.31857/S2500262722010045

13. Ardiel GS, Grewal TP, Deberdt P, et al. Inheritance of resistance to covered smut in barley and development of a tightly linked SCAR marker. *Theor Appl Genet.* 2002;104(2-3):457-464. doi: 10.1007/s001220100696
14. Bekhit M. Fighting wheat stem rust: pathogenesis-related genes, from conventional to modern approaches. *Annals of Agricultural Science Moshtohor.* 2018;56(4):1031-1044. doi: 10.21608/assjm.2018.47796
15. Brunner S, et al. Molecular mapping of the Rph7.g leaf rust resistance gene in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Theoretical and Applied Genetics.* 2000;101(5):783-788. doi:10.1007/s001220051544
16. Derevnina L, Fetch T, Singh D et al. Analysis of stem rust resistance in Australian barley cultivars. *Plant Dis.* 2014;98(11):1485-1493. doi: 10.1094/PDIS-11-13-1174-RE
17. Figueroa M, Dodds P, Henningsen E, Sperschneider EC. Global landscape of rust epidemics by Puccinia species: current and future perspectives. In: Scott B, Mesarich C, editors. *Plant Relationship.* Springer, Cham. 2023;5:391-423. doi: 10.1007/978-3-031-16503-0_17
18. Gill U, Brueggeman R, Nirmala J et al. Molecular and genetic characterization of barley mutants and genetic mapping of mutant rpr2 required for Rpg1-mediated resistance against stem rust. *Theor Appl Genet.* 2016;129:1519-1529. doi: 10.1007/s00122-016-2721-3
19. Grewal TS, Rossnagel BG, Bakkeren G et al. Identification of resistance genes to barley covered smut and mapping of the *Ruh1* gene using *Ustilago hordei* strains with defined avirulence genes. *Can J Plant Pathol.* 2008a;30(2):277-284. doi: 10.1080/07060661.2008.10540543
20. Grewal TS, Rossnagel BG, Scoles GJ. Mapping of a covered smut resistance gene in barley (*Hordeum vulgare*). *Can J Plant Pathol.* 2004;26(2):156-166. doi: 10.1080/07060660409507127
21. Grewal TS, Rossnagel BG, Scoles GJ. Validation of molecular markers for covered smut resistance and marker-assisted introgression of loose and covered smut resistance into hulless barley. *Mol Breeding.* 2008b;21:37-48. doi: 10.1007/s11032-007-9107-9
22. Mahesha H, Saini R, Singh T et al. Potential breeding strategies for developing disease-resistant barley: progress, challenges, and applications. In: Abd-Elsalam, KA, Mohamed HI, editors. *Cereal diseases: nanobiotechnological approaches for diagnosis and management.* Singapore: Springer; 2022:163-181. doi: 10.1007/978-981-19-3120-8_9
23. Menzies J, Steffenson B, Kleinhofs A. A resistance gene to *Ustilago nuda* in barley is located on chromosome 3H. *Canadian Journal of Plant Pathology.* 2010;32(2):247-251. doi: 10.1080/07060661003739977
24. Scherrer B, Isidore E, Klein P et al. Large intraspecific haplotype variability at the *Rph7* locus results from rapid and recent divergence in the barley genome. *The Plant Cell.* 2005;17(2):361-374. doi:10.1105/tpc.104.028225
25. Sharma Poudel R, Al-Hashel AF, Gross T et al. Pyramiding rpg4- and Rpg1-mediated stem rust resistance in barley requires the gene for both to function. *Frontiers in Plant Science.* 2018;9:1789. doi: 10.3389/fpls.2018.01789

References

1. Surin NA et al. Adaptive potential of barley of east siberian breeding. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex.* 2017;31(5):28-31.
2. Bekhtol'd NP, Orlova EA. Injuriousness of the barley smut agent under conditions of the forest-steppe of the Ob region. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex.* 2018;32(7):36-39. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10708
3. Dospekhov BA. *Methodology of field experiment: (with the basics of statistical processing of research results).* Moscow: Kniga po Trebovaniyu; 2012:352 p.

4. Dubina EV, et al. Study of biodiversity of *Pyricularia oryzae* Cav. by PCR-method in the rice-growing areas in the South of Russia. Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2018;32(10):19-23. doi: 10.24411/0235-2451-2018-11004
5. Radchenko EE. Study of genetic resources of grain crops for resistance to harmful organisms: methodical manual. Moscow: Rossel'hozakademija; 2008:416 p.
6. Korzh SO, Dubina EV. Biotechnological approaches in tomato breeding for resistance to *Fusarium oxysporum* f sp. *Lycopersici*. Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2022;36(7):31-35. doi: 10.53859/02352451_2022_36_7_31
7. Maksimov RA. Multiple regression analysis as a way to differentiate yield by the phases of growth and development of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.). Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2021;35(4):29-34. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10404
8. Vildanova GV, Blokhin VI, Ganieva IS, Lanochkina MM. Molecular genetic assessment of barley selection material on endurance of covered smut (*Ustilago Hordei*). Grain Economy of Russia. 2015;5:30-33.
9. Plotnikova LYa, et al. Resistance of two-row barley varieties and collection samples to covered smut in Western Siberia. Vestnik of Omsk SAU. 2020;1(37):50-60.
10. Askhadullin DF, Askhadullin DF, Vasilova NZ, Khusainova II, Tazutdinova MR. A variety in the spring wheat protection system from leafy diseases. Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2019;3(54):10-14. doi: 10.12737/article_5db8423bb4f997.64890554
11. Kochetov AA, Mirskaya GV, Sinyavina NG, Egorova KV. Transgressive breeding: a methodology for accelerated creating of new forms of plants with a predictable complex of economically valuable traits. Russian Agricultural Sciences. 2021;6:29-37. doi: 10.31857/S2500262721060065
12. Ilyushko MV, Guchenko SS, Lelyavskaya VN, Bezmutko SV, Romashova MV. Resistance of far eastern rice *Oryza Sativa* L. varieties and competitive testing samples to pyricularia oryzae cav. Russian Agricultural Sciences. 2022;1:19-22. doi: 10.31857/S2500262722010045
13. Ardiel GS, Grewal TP, Deberdt P, et al. Inheritance of resistance to covered smut in barley and development of a tightly linked SCAR marker. Theor Appl Genet. 2002;104(2-3):457-464. doi: 10.1007/s001220100696
14. Bekhit M. Fighting wheat stem rust: pathogenesis-related genes, from conventional to modern approaches. Annals of Agricultural Science Moshtohor. 2018;56(4):1031-1044. doi: 10.21608/assjm.2018.47796
15. Brunner S, et al. Molecular mapping of the Rph7.g leaf rust resistance gene in barley (*Hordeum vulgare* L.). Theoretical and Applied Genetics. 2000;101(5):783-788. doi:10.1007/s001220051544
16. Derevnina L, Fetch T, Singh D et al. Analysis of stem rust resistance in Australian barley cultivars. Plant Dis. 2014;98(11):1485-1493. doi: 10.1094/PDIS-11-13-1174-RE
17. Figueroa M, Dodds P, Henningsen E, Sperschneider EC. Global landscape of rust epidemics by Puccinia species: current and future perspectives. In: Scott B, Mesarich C, editors. Plant Relationship. Springer, Cham. 2023;5:391-423. doi: 10.1007/978-3-031-16503-0_17
18. Gill U, Brueggeman R, Nirmala J, et al. Molecular and genetic characterization of barley mutants and genetic mapping of mutant rpr2 required for Rpg1-mediated resistance against stem rust. Theor Appl Genet. 2016;129:1519-1529. doi: 10.1007/s00122-016-2721-3
19. Grewal TS, Rossnagel BG, Bakkeren G, et al. Identification of resistance genes to barley covered smut and mapping of the *Ruh1* gene using *Ustilago hordei* strains with defined avirulence genes. Can J Plant Pathol. 2008a;30(2):277-284. doi: 10.1080/07060661.2008.10540543
20. Grewal TS, Rossnagel BG, Scoles GJ. Mapping of a covered smut resistance gene in barley (*Hordeum vulgare*). Can J Plant Pathol. 2004;26(2):156-166. doi: 10.1080/07060660409507127

21. Grewal TS, Rossnagel BG, Scoles GJ. Validation of molecular markers for covered smut resistance and marker-assisted introgression of loose and covered smut resistance into hulless barley. *Mol Breeding*. 2008b;21:37-48. doi: 10.1007/s11032-007-9107-9

22. Mahesha H, Saini R, Singh T et al. Potential breeding strategies for developing disease-resistant barley: progress, challenges, and applications. In: Abd-Elsalam, KA, Mohamed HI, editors. *Cereal diseases: nanobiotechnological approaches for diagnosis and management*. Singapore: Springer; 2022:163-181. doi: 10.1007/978-981-19-3120-8_9

23. Menzies J, Steffenson B, Kleinhofs A. A resistance gene to *Ustilago nuda* in barley is located on chromosome 3H. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2010;32(2):247-251. doi: 10.1080/07060661003739977

24. Scherrer B, Isidore E, Klein P et al. Large intraspecific haplotype variability at the *Rph7* locus results from rapid and recent divergence in the barley genome. *The Plant Cell*. 2005;17(2):361-374. doi:10.1105/tpc.104.028225

25. Sharma Poudel R, Al-Hashel AF, Gross T et al. Pyramiding *rpg4*- and *Rpg1*-mediated stem rust resistance in barley requires the gene for both to function. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:1789. doi: 10.3389/fpls.2018.01789

Информация об авторах:

Антонина Александровна Новикова, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекционно-генетических исследований в растениеводстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 8922888448.

Ольга Сергеевна Гречишкина, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции ярового ячменя, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 89225314123.

Александр Алексеевич Зоров, кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора – руководитель НИИСХ, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1.

Ольга Викторовна Богданова, лаборант-исследователь, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 89878716655.

Information about the authors:

Antonina A Novikova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Head of the Laboratory for Breeding and Genetic Research in Plant Growing, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89228884481.

Olga S Grechishkina, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Head of the Laboratory for Spring Barley Breeding, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89225314123.

Alexander A Zorov, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Deputy Director – Head of the Research Institute of Agricultural Sciences, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.:89228293471.

Olga V Bogdanova, Laboratory Research Assistant, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89878716655.

Статья поступила в редакцию 16.05.2023; одобрена после рецензирования 30.05.2023; принята к публикации 13.06.2023.

The article was submitted 16.05.2023; approved after reviewing 30.05.2023; accepted for publication 13.06.2023.