

ПЫЛЬНАЯ ГОЛОВНЯ ЯЧМЕНЯ В ОМСКОЙ ОБЛАСТИ И ИСТОЧНИКИ УСТОЙЧИВОСТИ К НЕЙ

Л.В. Мешкова, О.Б. Сабаяева, П.Н. Николаев

Омский аграрный научный центр, Омск, Россия

E-mail: meshkova@anc55.ru

Для цитирования: Мешкова Л.В., Сабаяева О.Б., Николаев П.Н. Пыльная головня ячменя в Омской области и источники устойчивости к ней // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 70–78. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-70-78.

Ключевые слова: ячмень, устойчивость, патоген, популяция, пыльная головня, инфекционный фон.

Реферат. Большинство сортов ячменя, выращиваемых в Омской области на площади более 300 тыс. га, поражаются пыльной головней. Цель нашего исследования – проанализировать генофонд популяции возбудителя пыльной головни ячменя и выявить источники устойчивости к нему. В полевых условиях на искусственном инфекционном фоне лаборатории иммунитета растений в 2019–2023 гг. в первой декаде июля во время цветения заражали тест-сорта с идентифицированными генами устойчивости: Run 1, Run 3, Run 6, Run 7, Run 8, Run 12 и Run 14, сорта местной селекции Подарок Сибири (индикатор восприимчивости) и Омский 99 (индикатор устойчивости), образцы мировой коллекции ячменя ВИР и гибридный материал Омского АНЦ телиоспорами местной популяции пыльной головни *Ustilago tritici. hordei* (Jens.) Kell. Et. Sw. (старое название *Ustilago nuda* (Jens.) Kell. et Swings). Высевали инфицированные семена и учитывали поражение образцов на следующий год по методике ВИР и адаптированной методике СИММИТ. Результаты изучения популяции пыльной головни показали, что высокую устойчивость к патогену проявили сорта с генами Run 3, Run 6 и Run 8 и образец Л-6823 (Run 12). У образцов Trebi (Run 1) и Anoidium (Run 7) отмечено варьирование от практической устойчивости до слабой восприимчивости (поражение от 2,5 до 19,1 %), а у образца Korol (Run 14) – от слабой до сильной восприимчивости. Оценка устойчивости сортов, включенных в ГР РФ и гибридного материала лаборатории селекции зернофуражных культур, показала, что большинство форм поражается от слабой до средней степени. Сорт Омский 102, включенный в ГР РФ с 2023 г., подтвердил устойчивость к пыльной головне. В гибридном материале выделены образцы с практической устойчивостью и слабым поражением – Нутанс 4945 и Нутанс 4926. Среди коллекционного материала выявлены резистентные номера: Суздалец (к-30314), Задел, Витязь (РФ), Himalayen (к-15549), Galt (к-19910), Bonanza (к-21661) все из Канады и др. Перечисленные образцы рекомендованы как источники устойчивости для включения в селекционный процесс при создании устойчивых сортов для выращивания в Омской области.

THE DUSTY SMUT OF BARLEY IN THE OMSK REGION AND SOURCES OF RESISTANCE TO IT

L.V. Meshkova, O.B. Sabaeva, P.N. Nikolaev

Omsk Agricultural Research Center, Omsk, Russia

E-mail: meshkova@anc55.ru

Keywords: barley, resistance, pathogen, population, loose smut, infectious background.

Abstract. Most barley varieties grown in the Omsk region on an area of more than 300 thousand hectares are affected by dusty smut. The purpose of our study is to analyze the gene pool of the pathogen population and identify the sources of resistance to it. In the field, on an artificial infectious background of the plant immunity laboratory in 2019–2023, in the first decade of July, during flowering, test varieties with identified resistance genes were infected: Run 1, Run 3, Run 6, Run 7, Run 8, Run 12 and Run 14, varieties of local selection Gift of Siberia (susceptibility indicator) and Omsk 99 (stability indicator), samples of the world collection of barley VIR and hybrid material of Omsk ancestor teliospores of the local population of the Dusty smut *Ustilago tritici. hordei* (Jens.) Kell. et. Sw. (Old name *Ustilago nuda* (Jens.) Kell. et Swings). Infected seeds were sown and the lesion of the samples for the next year was taken into account according to the VIR method and the adapted SIMMIT method. The results of the study of the dusty smut population showed that varieties with the Run 3, Run 6 and Run 8 genes and sample L-6823 (Run 12) showed high resistance to the pathogen. The Trebi (Run 1) and Anoidium (Run 7) samples showed

a variation from practical resistance to weak susceptibility (damage from 2.5 to 19.1%), and the Korol sample (Run 14) – from weak to strong susceptibility. The assessment of the stability of the varieties included in the GR of the Russian Federation and the hybrid material of the laboratory for the breeding of grain crops showed that most forms are affected from a weak to medium degree. The Omsk 102 variety, included in the GR of the Russian Federation since 2023, has confirmed its resistance to dusty smut. In the hybrid material, samples with practical stability and mild damage were isolated – Nutans 4945 and Nutans 4926. Among the collection material, resistant numbers were identified: Suzdalets (k-30314), Zadel, Vityaz (RF), Himalayen (k-15549), Galt (k-19910), Bonanza (k-21661) all from Canada, etc. The listed samples are recommended as sources of stability for inclusion in the breeding process when creating resistant varieties for cultivation in the Omsk region.

Ячмень посевной (*Hordeum sativum* Jess.) относится к числу древнейших возделываемых растений земного шара. Огромный ареал культурного ячменя в мировом земледелии и древность его происхождения обуславливают большую дифференциацию видов и рас патогенов, поражающих его. Потери урожая от болезней весьма велики [1].

В Западной Сибири это одна из основных и хорошо адаптированных к условиям региона зерновая культура. В аграрном комплексе Омской области ячмень по площади посева занимает более 300 тыс. га, находится на втором месте среди зерновых культур и выращивается в основном в зоне южной лесостепи, характеризующейся благоприятной теплообеспеченностью и недостаточным в большинстве лет увлажнением [2].

Специфические условия зоны обуславливают и наличие определённого вида фитопатогенов, среди которых головнёвые болезни отличаются наибольшей распространённостью и вредоносностью и имеют большое экономическое значение.

Возделываются в области двурядные и многорядные, плёнчатые и голозёрные сорта различного народно-хозяйственного назначения, но в производстве предпочтение отдано двурядным плёнчатым формам зернофуражного направления, 95 % которых составляют сорта Омского аграрного научного центра (АНЦ «Омский»).

Зерно ячменя ввиду количества белка и его аминокислотного состава широко используется в животноводстве как зернофураж, но также применяется при производстве круп и в пивоварении. Уменьшению сбора зерна и ухудшению его качества способствуют и грибные инфекции, среди которых пыльная головня относится к экономически значимым болезням ячменя в регионе.

Пыльная головня [*Ustilago tritici. hordei* (Jens.) Kell. Et. Sw.] (старое название [*Ustilago nuda* (Jensen) Rostr]), вызываемая грибом из класса Basidiomycetes, порядка Ustilaginales *Ustilago nuda* (Jens.) Kell. et Swing, – распространённое грибное заболевание на ячмене, поражающее ко-

лос. Пыльная головня обнаруживается в посевах после выколашивания растений, грибок полностью разрушает все части цветка и завязь, превращая их в чёрно-оливковую пылящую массу спор. Кроме явных потерь, обусловленных полным разрушением зерновок, снижение урожая может быть вызвано уменьшением количества взошедших растений и их угнетением, снижением продуктивной кустистости, числа зёрен в колосе, массы 1000 зёрен, ухудшению качества зерна и слабой устойчивостью к другим болезням [3, 4].

Для снижения вредного воздействия грибных болезней на зерновые культуры чаще всего используют химические средства защиты растений, оказывающие отрицательное влияние на экологическую ситуацию в агроценозах. Известно, что наиболее экологически и экономически выгодным методом борьбы с возбудителями головневых заболеваний является выращивание генетически устойчивых сортов, создание которых подразумевает и анализ природных популяций патогенов. Определение генотипической структуры популяций грибов основывается на изучении взаимодействия патогена с растениями, несущими различные гены устойчивости.

В селекции на иммунитет следует учитывать, что резистентность сорта к заболеванию, особенно если она является расоспецифической, – не постоянная величина, она в значительной степени зависит от эволюции патогена. Причиной снижения устойчивости сорта может быть как появление новых рас возбудителя, так и изменение в соотношении рас в популяции, вызванное распространением сорта на больших площадях, что приводит к необходимости регулярного мониторинга состава природных популяций патогена и создания сортов с другими эффективными генами устойчивости [5–7].

Цель работы – изучение генофонда природной популяции возбудителя пыльной головни ячменя в Омской области и выявление эффективных источников устойчивости для использования в практической селекции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в зоне южной лесостепи Омской области в полевых условиях на искусственном инфекционном фоне лаборатории иммунитета растений АНЦ «Омский» в 2019–2023 гг. Почва участка представлена черноземом луговым среднесуглинистым.

Климат зоны отличается контрастными погодными условиями по гидротермическому режиму.

Материал для исследования: спорообразцы местной популяции возбудителя пыльной головни ячменя; набор тест-сортов с идентифицированными генами устойчивости Run 1, Run 3, Run 6, Run 7, Run 8, Run 12 и Run 14; сорта местной селекции: Подарок Сибири – индикатор восприимчивости и Омский 99 – индикатор устойчивости; сорта ярового пленчатого двурядного ячменя, включённые в ГР РФ и допущенные к выращиванию в области; гибридный материал АНЦ «Омский» и образцы из мировой коллекции ячменя Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР, Санкт-Петербург). Ежегодно оценивалось от 80 до 100 номеров.

Высевали вышеперечисленные образцы в середине мая по пару, заражали растения во время цветения телиоспорами местной популяции пыльной головни шприц-методом по 10 колосьев каждого образца. Споровый материал патогена для инфицирования растений собирали в зоне южной лесостепи с селекционных и производственных посевов ячменя, раствор (споровая суспензия головни с водой) готовили непосредственно перед инокуляцией растений.

Инфицированные колосья убирали при полной спелости зерна, проводили ручной обмолот. По внешнему виду инокулированные пыльной головнёй семена не отличаются от здоровых зерен.

Заражённые семена высевали на следующий год в середине мая в 3-кратной повторности гнездовой сеялкой СПР-2 по 50 семян на глубину 6–8 см, площадь посева 10×30 см, предшественник – чистый пар. Учитывали поражение растений после фазы цветения подсчётом больных и здоровых стеблей.

Критерий оценки резистентности сорта к головне – число больных колосьев, выраженное в процентах к общему числу стеблей анализируемого образца по максимальному значению из трёх повторностей. При идентификации рас возбудителя пыльной головни определяли реакцию устой-

чивости растения – хозяина на внедрение патогена по критерию: $R-S$, где R (устойчивость) – поражение до 10 %, S (восприимчивость) – поражение более 10 % [8]. При оценке резистентности сорта к головне их унифицировали по пяти классам устойчивости, от высокой устойчивости до сильной восприимчивости, при степени поражения сорта – индикатора восприимчивости не менее 60 % [9]:

- высокая устойчивость, поражение отсутствует;
- практическая устойчивость, поражение не превышает 5 %;
- слабая восприимчивость, поражение не превышает 25 %;
- средняя восприимчивость, поражение не более 50 %;
- сильная восприимчивость, поражение более 50 %.

При поражении сорта – индикатора восприимчивости ≤ 60 %, резистентность образцов характеризовали через индекс устойчивости (ИУ), который позволяет нивелировать влияние условий внешней среды. Он рассчитывается как отношение значения поражения испытуемого образца к поражению сорта – индикатора восприимчивости. Степень устойчивости сортов определяли в соответствии со значениями $ИУ = 0$ – высокая устойчивость (иммунитет); 0,01–0,10 – практическая устойчивость; 0,11–0,40 – слабая восприимчивость; 0,41–0,80 – средняя восприимчивость; 0,81–1,0 – сильная восприимчивость [10].

Статистическую обработку данных проводили по Б.А. Доспехову [11]. Для оценки достоверности различий между образцами использовали ошибку средней (S_x), при анализе корреляционных связей – вероятность погрешности p при 5%-м уровне значимости с использованием программы Statistica 10.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характерная особенность устойчивости сортов к головне – это её нестабильность по годам, обусловленная и влиянием метеорологических факторов, она может варьировать от практической устойчивости до сильной восприимчивости, что предполагает многолетнюю оценку сортов (не менее трёх лет) и использование ИУ.

Развитие возбудителей и инфекционный процесс существенно зависит от факторов внешней среды. Заражение растений пыльной головнёй

происходит во время цветения при определённом сочетании температуры и влажности. Оптимальная температура для прорастания телиоспор пыльной головки 18–20 °С, минимальная – 5 °С, максимальная – 26–30 °С, высокая влажность воздуха благоприятствует заражению и развитию инфекции [9].

Агрометеорологические условия в годы проведения исследований по гидротермическому режиму отличались контрастностью во время инфицирования растений телиоспорами патогена – I декада июля. По температурному режиму условия были близки к оптимальным (18–20 °С),

а по осадкам – от оптимального увлажнения до засухи (рис. 1).

По сочетанию температуры и осадков более благоприятной для заражения растений была первая декада июля 2019 г., гидротермический коэффициент ГТК = 1,21, в 2021 г. этот период характеризовался как засушливый (ГТК = 0,56), а в 2020 и 2022 гг. – как сухой: ГТК 0,41 и 0,45 соответственно.

Расчёт коэффициентов корреляции показал высокую корреляцию между увлажнением, осадками и поражением ($r > 0,7$) и среднюю отрицательную с температурой воздуха ($r = -0,44$).

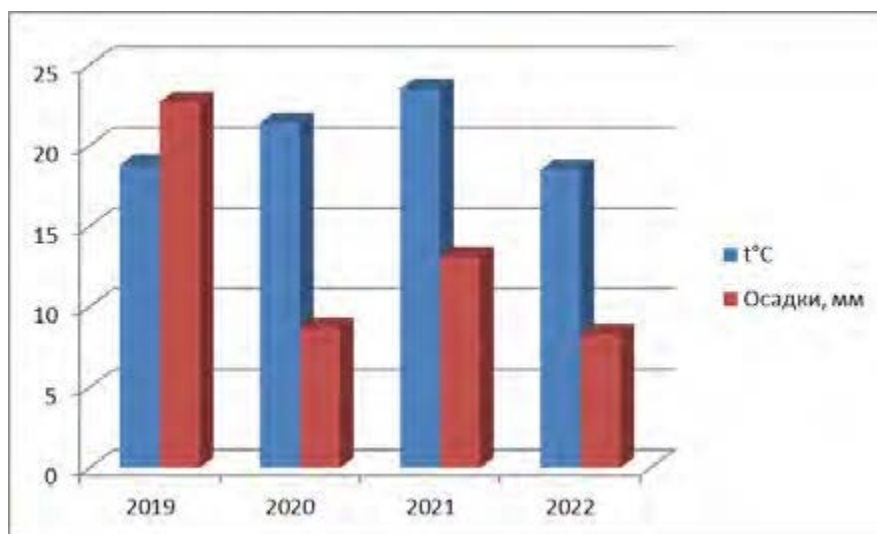


Рис. 1. Гидротермические условия I декады июля

Hydrothermal conditions of the first ten days of July

В целом гидротермические условия за годы исследования не способствовали созданию жесткого инфекционного фона, поражение сорта Подарок Сибири варьировало от 43,0 % в 2021 г. до 61,6 % в 2023 г., что подтверждает значительное влияние влажности на заражение ($r = 0,79$).

Проведенный анализ спорообразцов возбудителя пыльной головки ячменя на генетическом наборе тест-сортов за 2019–2022 гг. показал, что тест-сорта Keyston (с геном устойчивости Run 6),

CI.13664 (Run 8) и образец Л-6823 (Run 12) проявляют иммунитет или высокую устойчивость (поражение менее 5 %) во все годы исследований, а Paragon (Run 3) показывает высокую устойчивость или слабую восприимчивость. Устойчивость сортов Trebi (Run 1) и Anoidium (Run 7) варьируют от практической устойчивости до слабой восприимчивости, а сорт Korol (Run 14) проявил восприимчивость ко всем изучаемым популяциям патогена (табл. 1).

Таблица 1

Поражение пыльной головнёй сортов ячменя с идентифицированными генами устойчивости в 2020–2023 гг., %, класс устойчивости

Loose smut infestation of barley varieties with identified resistance genes in 2020–2023, %, resistance class

Каталог ВИР	Ген устойчивости	Сорт, образец	Страна	Max* поражение, % / тип устойчивости			
				2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
1	2	3	4	5	6	7	7
к-11815	Run 1	Trebi	США	2,5/R	9,5/R	11,1/S	19,1/S

1	2	3	4	5	6	7	7
к-20259	Run 3	Paragon	Канада	2,4/R	1,4/R	7,9/R	0/R
к-19304	Run 6	Keystone	Канада	0/R	1,4/R	0/R	0/R
к-18671	Run 7	Anoidium	Канада	5,9/R	6,5/R	13,3/S	4,3/R
к-26419	Run 8	CI 13664	США	1,1/R	0/R	0/R	0/R
к-29630	Run 12	Л-6823	Украина	0/R	0/R	0/R	0/R
к-20327	Run 14	Korol	Канада	18,0/S	16,7/S	22,6/S	41,7/S
Индикатор устойчивости R		Омский 99	РФ	0/R	0/R	1,5/R	0/R
Индикатор восприимчивости S		Подарок Сибири	РФ	56,5/S	43,0/S	44,0/S	61,6/S

Max * максимальное значение.

Полученные ранее данные (2014–2019 гг.) анализа Омской популяции пыльной головки ячменя выявил высокую эффективность к возбудителю заболевания тест-сортов ячменя с генами Run 3 (Paragon), Run 6 (Keystone) и Run 8 (CI 13664) [16].

В результате проведенных многолетних исследований было установлено, что в популяции патогена практически отсутствуют биотипы, вирулентные к сортам, устойчивость которых обуславливают гены Run 6, Run 8 и Run 12. Незначительное поражение отмечено по тест-сорт Paragon (Run 3).

При анализе популяции пыльной головки лесостепи Приобья, по данным Н.П. Бехтольд и Е.А. Орловой, эффективны к патогену гены устойчивости растения-хозяина Run 6 и Run 8, из них ген Run 6 несет полную невосприимчивость к возбудителю. Аналогичные результаты получены и в Кировской области, где устойчивость обеспечивают гены Run 6 и Run 8 [12–14].

По данным W. Zang и др., ген Run 8 был признан одним из наиболее эффективных в мире к возбудителю пыльной головки [15].

Таким образом, многолетний анализ популяции возбудителя пыльной головки ячменя показал, что высокую устойчивость к патогену в Омской области сохраняют тест-сорта с генами

устойчивости Run 3, Run 6, Run 8 и Run 12. Такое постоянство вирулентности патогена объясняется тем, что отсутствует давление фактора устойчивости на генофонд патогена, так как у большинства сортов, выращиваемых в Омской области (по их родословным), отсутствуют эффективные гены устойчивости. Как отмечает В.М. Берлянд-Кожевников, «при постоянстве и невысокой интенсивности давления факторов на популяцию, её генотипический состав, неизбежно флуктуируя, может оставаться в течение длительного времени статистически довольно неизменным. Если, однако, популяция испытывает давление какого-либо фактора, то неизбежно происходит изменение в генофонде популяции» [17].

Оценка устойчивости к местной популяции пыльной головки сортов ячменя, возделываемых в области и находящихся на Государственном сортоиспытании (ГСИ), показала, что они в основном представлены средневосприимчивыми (ИУ = 0,41–0,80) и сильновосприимчивыми (ИУ = 0,81–1,0) двурядными формами (нутанс и медикум). Слабую восприимчивость (ИУ = 0,11–0,41) показал сорт Омский 102, включённый в ГР РФ с 2023 г. Отмечается значительная вариабельность поражения сортов Омский 91, Омский 96 и Омский 101 и Омский 103 (табл. 2).

Таблица 2

Оценка сортов ячменя по устойчивости к пыльной головке, инфекционный фон, 2020–2023 гг.
Evaluation of barley varieties for resistance to loose smut, infection background, 2020–2023

Сорт	Var.	Вкл. в ГР	Поражение, %, ИУ			
			2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
1	2	3	4	5	6	7
Подарок Сибири *	Медикум	–	56,5/ 1,0	43,0/0,90	44,0/1,0	61,6/1,0
Омский 99*	Паллидум	2015	0 / 0	0/0	1,5/0,03	0/0
Омский 90	Медикум	2000	55,6/0,98	47,7/1,0	17,3/0,39	19,8/0,32

1	2	3	4	5	6	7
Омский 91	Нутанс	2004	47,3/0,84	4,3/0,09	5,2/0,12	44,4/0,72
Омский 95	Нутанс	2007	36,7/0,65	42,8/0,89	18,6/0,42	31,6/0,51
Омский 96	Нутанс	2008	37,6/0,66	3,7/0,08	25,9/0,59	16,8/0,27
Сибирский авангард	Медикум	2010	24,3/0,43	7,1/0,15	28,8/0,65	15,0/0,24
Саша	Медикум	2012	31,5/0,56	31,3/0,66	29,6/0,67	17,7/0,29
Омский 100	Медикум	2019	22,1/0,39	27,5/0,58	14,9/0,34	27,1/0,44
Омский 101	Медикум	2021	51,1/0,90	44,4/0,93	7,3/0,17	40,9/0,66
Омский 102	Нутанс	2023	–	9,4 / 0,22	6,0 / 0,14	–
Омский 103	Медикум	ГСИ	11,3/0,20	2,6/0,05	18,1/0,41	28,9/ 0,47
Омский 104	Нутанс	ГСИ	20,0/ 0,35	41,2/0,86	17,8/0,40	58,3/0,95

*Индикаторы поражения сортов.

Стабильно проявляет высокую устойчивость к патогену многорядный плёчатый сорт Омский 99, полученный от скрещивания резистентного

сорта Омский 89 с селекционным номером Паллидум 4466 (рис. 2).



Рис. 2. Родословная сорта ячменя ярового многорядного Омский 99

Pedigree of the spring multi-row barley variety Omsky 99

Ранее было установлено, что резистентность в сорт Омский 89 привнесена от сорта Омский 85, полученного в результате отбора мутантного растения из сорта Белогорский, в родословной которого присутствует сорт Keyston, обладающий высокой устойчивостью к пыльной головне [18]. Следует отметить, что он унаследовал ген устойчивости Run 6 от сорта Jet (к-18703, Эфиопия) ещё в середине XX в. [8]. Этот ген и сегодня остается высокоэффективным и в других регионах России [19].

С целью расширения генетического разнообразия источников резистентности осуществлен скрининг коллекционных образцов ячменя по устойчивости к местной популяции пыльной головки из России, Беларуси, Канады, США, Швеции, Украины и других стран.

Оценка коллекционного материала по устойчивости к природной популяции пыльной головки выявила резистентные образцы (табл. 3).

Источники устойчивости к местной популяции пыльной головки ячменя Омской области
Sources of resistance to the local population of loose smut of barley in the Omsk region

Каталог ВПР	Ген устойчивости	Сорт	Оригинатор	Поражение: % / ИУ	
				2022 г.	2023 г.
к-30174	Run 8	Эльф	РФ	2,4 / 0,05	3,7 / 0,06
к-30314	Run 8, Run 15	Суздалец	РФ	0 / 0	0 / 0
–	–	Задел	РФ	0 / 0	0 / 0
–	–	Витязь	РФ	0 / 0	0 / 0
–	–	Московский 86	РФ	2,2 / 0,05	3,8 / 0,06
к-15549	–	Himalayen	Канада	2,0 / 0,05	0 / 0
к-18688	Run 4	Dorsett	Канада	5,4 / 0,12	6,0 / 0,10
к-19910	Run 3	Galt	Канада	2,6 / 0,06	0 / 0
к-21661	Run 3, Run 6	Bonanza	Канада	2,1 / 0,05	0 / 0
к-19326	–	Nepal	США	3,4 / 0,08	0 / 0
к-21929	–	Milton	Швеция	8,5 / 0,19	7,1 / 0,12
Индикатор R		Омский 99	РФ	1,5 / 0,03	0 / 0
Индикатор S		Подарок Сибири	РФ	44,0 / 1,0	59,6 / 1,0

Иммунитет к патогену проявили сорта: Суздалец (к-30314), Задел и Витязь; практическую устойчивость (поражение 0–5 %, ИУ = 0,01–0,10) показали сорта Эльф, Московский 86, Himalayen (к-15549), Galt (к-19910), Bonanza (к-21661) и Nepal.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведённых исследований было установлено, что в популяции возбудителя пыльной головки ячменя практически отсутствуют биотипы, вирулентные к сортам, устойчивость которых обуславливают гены Run 6, Run 8 и Run 12. Незначительное поражение отмечено по тест-сорт Paragon (Run 3).

2. Оценка устойчивости выращиваемых и перспективных сортов ячменя в области показала, что они в основном представлены средневоспри-

имчивыми (ИУ = 0,41–0,80) и сильновосприимчивыми (ИУ = 0,81–1,0) двурядными формами. Слабую восприимчивость (ИУ = 0,11–0,41) показал сорт Омский 102, включённый в ГР РФ с 2023 г.

3. Стабильно проявляет высокую устойчивость к патогену многорядный плёчатый сорт Омский 99, предположительно по родословной с геном устойчивости Run 6.

4. В результате оценки коллекционного материала выявлен ряд непоражаемых и устойчивых образцов: Суздалец, Задел, Витязь, Эльф, Московский 86, Himalayen, Galt, Bonanza и Nepal. Перечисленные образцы рекомендованы для использования в практической селекции при создании устойчивых к пыльной головке сортов ячменя для Омской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трофимовская А.Я. Ячмень (эволюция, классификация, селекция). – Л.: Колос, 1972. – 296 с.
2. Система адаптивного земледелия Омской области. ФГБНУ «Омский АНЦ». – Омск, 2020. – 522 с.
3. Усольцев Ю.А. Снижение потерь урожая ячменя от головневых заболеваний // Вестник Курганской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 3. – С. 65–69.
4. Легкун И.Б. Создание и оценка сортов ячменя озимого на групповую устойчивость к головневым заболеваниям // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2015. – Т. 19 – № 2. – С. 191–196.
5. Жученко А.А. Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства (концепция). – Пушкино, 1994. – С. 110–119.
6. Тенденция преодоления устойчивости к бурой ржавчине интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом *Aegilops speltoides* Tausch / Л.Я. Плотникова, Л.В. Мешкова, Е.И. Гульяева [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2018. – Т. 22, № 5. – С. 560–567. – DOI: 10.18699/VJ18.395.

7. Влияние сортов мягкой яровой пшеницы ФГБНУ «Омского АНЦ» с геном Lr 26 на вирулентность возбудителя бурой ржавчины / Л.В. Мешкова, Л.П. Россеева, О.А. Шмакова [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2021. – № 10. – С. 20–25.
8. Кривченко В.И. Устойчивость зерновых колосовых к возбудителям головнёвых болезней. – М.: Колос, 1984. – 304 с.
9. Кривченко В.И., Хохлова А.П. Головнёвые болезни зерновых культур // Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам: метод. пособие. – М., 2008. – С. 32–85.
10. Резистентность к каменной головне сортов и коллекционных образцов двурядного ячменя в Западной Сибири / Л.Я. Плотникова, Л.В. Мешкова, О.Б. Сабаяева [и др.] // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2020. – № 1 (37). – С. 50–60.
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Альянс, 2014. – 351 с.
12. Бехтольд Н.П., Орлова Е.А. Изучение расового состава возбудителя пыльной головни ячменя // Научные исследования для АПК в Сибири и Казахстане. Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий: сб. – Барнаул, 2018. – С. 24–30.
13. Bekhtold N.P., Orlova E.A. Genetics of resistance of spring barley to the agent *ustilago nuda* // Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology. The 6th International Scientific Conference. Abstracts. Editors: Alexey V. Kochetov, Elena A. Salina. Новосибирск, 2021. С. 33.
14. Щуплецова О.Н., Щенникова И.Н. Генетические источники селекции ячменя (*Hordeum vulgare*) в Волго-Вятском регионе // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2019. – Т. 180, № 1. – С. 82–88. – DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-82-88.
15. Fain mapping and identification of a candidate gene for the barley Un8 true loose smut resistance gene / W. Zang, P. E., Eckstem, M. Colin [et al.] // Theor. Appl. Genet. – 2015. – Vol. 128. – P. 1209–1218. – DOI: 10.1007/s00122-2501-5.
16. Иммунологическая характеристика ячменя и овса по устойчивости к природным популяциям головнёвых заболеваний / Л.В. Мешкова, П.Н. Николаев, С.В. Васюкевич [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 10. – С. 43–49. – DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11006.
17. Берлянд-Кожевников В.М. Сопряжённая эволюция растения-хозяина и паразита и селекция пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине. // Генетика и селекция болезнеустойчивых сортов культурных растений. – М.: Наука, 1974. – С. 17–40.
18. Падерина Е.В. Источники ячменя со стабильной комплексной устойчивостью к головнёвым заболеваниям // Источники устойчивости сельскохозяйственных культур к болезням в Западной Сибири: Науч.-техн. бюл. / ВАСХНИЛ. Сиб. отд. СибНИИСХ. – 1990. – Вып. 6. – С. 17–21.
19. Новикова А.А., Богданова О.В. Возможности маркер-ориентированной селекции для создания сортов ячменя, устойчивых к биотическим и абиотическим факторам (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. – 2021. – Т. 104, № 1 – С. 138–142. – DOI: 10.33284/2658-3135-104-1-138.

REFERENCES

1. Trofimovskaya A.Ya., *Yachmen' (evolyutsiya, klassifikatsiya, selektsiya)* (Barley (evolution, classification, selection)), Leningrad: Kolos, 1972, 296 p.
2. *Sistema adaptivnogo zemledeliya Omskoy oblasti* (System of adaptive farming of the Omsk region), FGBNU Omsk ANC, Omsk, 2020, 522 p.
3. Usoltsev Yu.A., *Bulletin of Kurgan State Agricultural Academy*, 2018, No. 3, pp. 65–69. (In Russ.)
4. Legkun I.B., *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*, 2015, Vol. 19, No. 2, pp. 191–196. (In Russ.)
5. Zhuchenko A.A., *Strategiya adaptivnoy intensivatsii sel'skogo khozyaystva (kontseptsiya)* (Strategy of adaptive intensification of agriculture (concept)), Pushchino, 1994, pp. 110–119. (In Russ.)
6. Plotnikova L.Y., Meshkova L.V., Gulyaeva E.I., Mitrofanova O.P., Lapochkina I.F., *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2018, Vol. 22 (5), pp. 560–567, DOI: 10.18699/VJ18.395. (In Russ.)
7. Meshkova L.V., Rosseeva L.P., Shmakova O.A., Belan I.A., *Uspekhi sovremennoi nauchnostvennosti*, 2021, No. 10, pp. 20–25. (In Russ.)
8. Krivchenko V.I., *Ustoychivost' zernovykh kolosovykh k vozбудителям golovnevykh bolezney* (Stability of grain spikelets to pathogens of bunt diseases), Moscow: Kolos, 1984, 304 p. (In Russ.)
9. Krivchenko V.I., Khokhlova A.P., *Izuchenie geneticheskikh resursov zernovykh kul'tur po ustoychivosti k vrednym organizmam* (Study of genetic resources of cereal crops for resistance to pests), 2008, pp. 32–85.
10. Plotnikova L.Ya., Meshkova L.V., Sabaeva O.B., Nikolaev P.N., *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, No. 1 (37), pp. 50–60. (In Russ.)
11. Dospikhov B.A., *Metodika polevogo opyta* (Methodology of field experience), Moscow: Alliance, 2014, 351 p. (In Russ.)

12. Bekhtold N.P., Orlova E.A., *Nauchnye issledovaniya dlya APK v Sibiri i Kazakhstane. Federal'nyy Altayskiy nauchnyy tsentr agrobiotekhnologiy*, Barnaul, 2018, pp. 24–30. (In Russ.)
13. Bekhtold N.P., Orlova E.A., Genetics of resistance of spring barley to the agent *ustilago nuda*, *Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology*, The 6th International Scientific Conference. Abstracts. Editors: Alexey V. Kochetov, Elena A. Salina, Novosibirsk, 2021, p. 33. (In Russ.)
14. Shchupletsova O.N., Schennikova I.N., *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*, 2019, Vol. 180 (1), pp. 82–88, DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-82-88. (In Russ.)
15. Zang W., Eckstem P.E., Colin M. [et al.], Fain mapping and identification of a candidate gene for the barley Un8 true loose smut resistance gene, *Theor. Appl. Genet.*, 2015, Vol. 128, pp. 1209–1218, DOI: 10.1007/s00122-2501-5.
16. Meshkova L.V., Nikolaev P.N., Vasyukevich S.V., Sabaeva O.B., Pyatkova O.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020, Vol. 34, No. 10, pp. 43–49, DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11006. (In Russ.)
17. Berlyand-Kozhevnikov V.M., *Genetika i selektsiya bolezneustoychivyykh sortov kul'turnykh rasteniy* (Genetics and breeding of disease-resistant varieties of cultivated plants), Moscow, Nauka, 1974, pp. 17–40. (In Russ.)
18. Paderina E.V., *Istochniki ustoychivosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur k boleznyam v Zapadnoy Sibiri*, VASHNIL. Siberian branch. SibNIISKh, 1990, Vol. 6, pp. 17–21. (In Russ.)
19. Novikova A.A., Bogdanova O.V., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2021, Vol. 104, No. 1, pp. 138–142, DOI: 10.33284/2658-3135-104-1-138. (In Russ.)

Информация об авторах:

Л.В. Мешкова, кандидат биологических наук

О.Б. Сабаева

П.Н. Николаев, кандидат сельскохозяйственных наук

Contribution of the authors:

L.V. Meshkova, candidate of Biological Sciences

O.B. Sabaeva

P.N. Nikolaev, candidate of Agricultural Sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.