

Нина Павловна Бехтольд^{1✉}, Елена Арнольдовна Орлова²

^{1,2}Сибирский НИИ растениеводства и селекции – филиал ФИЦ Института цитологии и генетики СО РАН, Краснообск, Новосибирская область, Россия

^{1,2}Telichkinanina@mail.ru

МОНИТОРИНГ ВОЗБУДИТЕЛЯ КАМЕННОЙ ГОЛОВНИ ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ ПРИОБЬЯ

*Цель исследований – изучение расового состава популяции возбудителя заболевания *Ustilago hordei* в условиях лесостепи Приобья. Исследования проводили в 2009–2023 гг. в полевых условиях на инфекционном фоне фитопатологического участка лаборатории генофонда растений СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН Новосибирского района, Новосибирской области. Объекты изучения – семь сортов-дифференциаторов общепринятого российского набора (*Excelsior*, *Himalaya*, *Hannchen*, *Lion*, *Nepal*, *Pannier*, *Trebi*). опыты размещали по паре. Посев осуществляли в первой декаде мая. Учетную реакцию каждого сорта фиксировали по максимальному поражению. Подсчет больных и здоровых колосьев проводили в фазу полной спелости зерна. Степень устойчивости растений определяли по шкале В.И. Кривченко, где R – устойчивые сорта (поражение до 10 %), S – восприимчивые сорта (поражение более 10 %). Анализ экспериментальных данных показал, что новосибирская популяция *U. hordei* в 2009, 2010 и 2014 гг. была представлена расой 7, в 2011 и 2013 гг. в популяции возбудителя твердой головни преобладала раса 3, а в 2012 – раса 2. В 2015 г. расовый состав изменился и в популяции появилась 12-я раса. С 2016 г. популяция не дифференцируется на расы, сорта *Excelsior* и *Hannchen*, несущие гены *Ruh 2* и *Ruh 1*, показывают восприимчивую реакцию (на протяжении восьми лет). Высокоустойчивый сорт-дифференциатор *Himalaya* проявляет тип реакции, который не соотносится с известным ключом для определения рас. Сорт *Pannier* за все годы наблюдений проявлял стабильную устойчивость к возбудителю каменной головни.*

Ключевые слова: ячмень яровой, популяция, каменная головня, расовый состав, сорта-дифференциаторы

Для цитирования: Бехтольд Н.П., Орлова Е.А. Мониторинг возбудителя каменной головни ячменя в условиях лесостепи Приобья // Вестник КрасГАУ. 2024. № 8. С. 51–56. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-8-51-56.

Благодарности: работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

Nina Pavlovna Bechtold^{1✉}, Elena Arnoldovna Orlova²

^{1,2}Siberian Research Institute of Plant Growing and Breeding – branch of the FRC of the Institute of Cytology and Genetics of the SB of the RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

^{1,2}Telichkinanina@mail.ru

MONITORING OF BARLEY STONEFLY PATHOGEN IN THE CONDITIONS OF THE FOREST-STEPPE OF THE PRIOBIE REGION

*The aim of research is to study the racial composition of the population of the causative agent of the disease *Ustilago hordei* in the forest-steppe conditions of the Priobie Region. The studies were conducted in 2009–2023 in field conditions against the infectious background of the phytopathological section of the plant gene pool laboratory SibRIPP&B – Branch of IC&G SB RAS, Novosibirsk District, Novosibirsk Region.*

The objects of study were seven differentiating varieties of the generally accepted Russian set (*Excelsior*, *Himalaya*, *Hannchen*, *Lion*, *Nepal*, *Pannier*, *Trebi*). The experiments were placed on fallow. Sowing was carried out in the first ten days of May. The accounting reaction of each variety was recorded by the maximum damage. Diseased and healthy ears were counted in the phase of full grain maturity. The degree of plant resistance was determined according to the scale of V.I. Krivchenko, where R is resistant varieties (damage up to 10 %), S is susceptible varieties (damage more than 10 %). Analysis of experimental data showed that the Novosibirsk population of *U. hordei* in 2009, 2010 and 2014 was represented by race 7, in 2011 and 2013 race 3 predominated in the population of the causative agent of hard smut, and in 2012 – race 2. In 2015, the racial composition changed and race 12 appeared in the population. Since 2016, the population has not been differentiated into races; the *Excelsior* and *Hannchen* varieties carrying the *Ruh 2* and *Ruh 1* genes have shown a susceptible reaction (for eight years). The highly resistant *Himalaya* variety-differentiator shows a type of reaction that does not correspond to the known key for determining races. The *Pannier* variety has shown stable resistance to the stone smut pathogen over all years of observation.

Keywords: spring barley, population, stone smut, racial composition, differentiating varieties

For citation: Bechtold N.P., Orlova E.A. Monitoring of barley stonefly pathogen in the conditions of the forest-steppe of the Priobie Region // Bulliten KrasSAU. 2024;(8): 51–56 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-8-51-56.

Acknowledgments: the work was supported by the budget project of the Institute for Research and Development of the SB of the RAS № FWNR-2022-0018.

Введение. Яровой ячмень является одной из наиболее распространенной и важнейшей зернофуражной и технической культурой в мире [1–4]. В Новосибирской области по занимаемым площадям ячмень находится на втором месте после пшеницы. В основном выращивают двурядные, пленчатые сорта сибирской селекции. С 2010 по 2023 г. площадь данной культуры варьировала от 143,7 тыс. га до 224 тыс. га [5]. Головневые болезни, поражающие ячмень, являются наиболее вредоносными.

В Сибирском федеральном округе в 2022–2023 гг., по данным Россельхозцентра, на яровых зерновых культурах головневые болезни были выявлены на 19,07 тыс. га (в 2021 г. – 26,05 тыс. га) [6].

Среди болезней ячменя, вызываемых грибными патогенами, головневые занимают одно из ведущих мест. Они распространены везде, где возделывается эта культура, вызывая значительное снижение урожая и ухудшение его качества [7]. Вредоносность от заболеваний заключается не только в прямых потерях урожая, но и в снижении качества зерна, делающим его непригодным для пищевой и пивоваренной промышленности, а также в кормопроизводстве [8]. Ячмень поражается такими головневыми болезнями, как каменная (возбудитель *Ustilago hordei* (Pers.) Kell. et Swing.), пыльная (вызывается возбудителем *Ustilago nuda* (Jens.) Kell. et Swing.) и черная пыльная головня (*Ustilago nigra* Tapke), принадлежащие в систематическом отношении к классу *Basidiomycetes* [9, 10].

Каменная (твердая) головня проявляется в посевах в фазу выколашивания растений. Возбудитель разрушает колос, сохраняется только внешний слой тканей чешуек, колосовой стержень и иногда ости. Очень редко болезнь проявляется на междоузлиях и листьях. Растения, пораженные *U. hordei*, характеризуются пониженным ростом. При обмолоте головневые комочки разрушаются, засоряют зерно, загрязняют семенной материал. Телиоспоры возбудителя округлые, изредка продолговатые, светло-коричневые. В зерне ячменя хламидоспоры сохраняются в углублениях, трещинах семенной оболочки или между пленками. Заражение растений происходит в почве в фазе проростков. Оптимальной температурой для прорастания спор является 20–25 °С, минимальной 5 °С и максимальной 30–35 °С при влажности почвы 60–70 % [9, 10].

Создание устойчивых сортов должно проводиться с учетом набора возбудителей болезней, доминирующих в посевах, а также изменений в составе их популяций. Потеря устойчивости объясняется появлением новых вирулентных рас. Многие авторы в своих исследованиях подтверждают, что первым этапом при работе с головневыми грибами является определение расового состава популяции в конкретной агроклиматической зоне [11–13].

В России идентификацию рас возбудителя каменной головни ячменя изучали сотрудники Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства им. Вавилова (ВИР) под

руководством В.И. Кривченко (1984). Ученые использовали в работе тестерный ряд, включающий набор из 7 сортов-дифференциаторов. Всего для нашей страны на этом наборе установлено 12 рас твердой головки ячменя [10].

В Новосибирской области исследований по определению расового состава популяции возбудителя каменной головки ячменя не проводилось.

Цель исследований – изучение расового состава популяции возбудителя заболевания *Ustilago hordei* в условиях лесостепи Приобья.

Объект и методы. Исследования по изучению расового состава популяции возбудителя каменной головки ячменя проводили в полевых условиях в 2009–2023 гг. на инфекционном фоне фитопатологического участка лаборатории генофонда растений СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН. Семена инокулировали за месяц до посева телиоспорами *U. hordei* по методике Кривченко (1984). Споровый материал представлен зараженными колосьями, собранными с различных сортов ярового ячменя с селекционных полей СибНИИРС, Алтайского края, Тюменской, Омской и Кемеровской областей. Опыты размещали по пару. Посев осуществляли кассетной сеялкой СКС-6, в первой декаде мая каждого сорта высевали по 200 зараженных возбудителем зерен. За годы исследований погодные условия были различными, но в основном складывались благоприятно для роста и развития растений ярового ячменя, а также для создания инфекционного фона.

Дифференциацию рас возбудителя осуществляли по методике ВИР на общепринятом российском наборе сортов дифференциаторов с идентифицированными генами устойчивости *Ruh* [10, 14]. Учет проводили в фазу полной

спелости зерна. Реакцию каждого сорта фиксировали по максимальному проценту поражения. Степень устойчивости растений определяли по шкале В.И. Кривченко (1984), где R – устойчивые сорта (поражение до 10 %), S – восприимчивые сорта (поражение более 10 %).

Результаты и их обсуждение. На территории Новосибирской области исследования по идентификации рас возбудителя каменной головки *U. hordei* проводились в 2009–2023 гг. впервые (табл. 1). Мониторинг популяции патогена показал, что ее генотипическая структура нестабильна. Причиной нестабильности рас могут быть рекомбинационные процессы у головневых грибов, также на соотношение клонов в популяции существенное влияние могут оказать метеоусловия. Однако основное влияние на изменчивость рас оказывают сорта, близкородственные по генам устойчивости к каменной головне. В 2009, 2010 и 2014 гг. популяция *U. Hordei* была представлена седьмой расой, которая поражала сорта Lion и Trebi. Раса 3, патогенная для сортов Hannchen, Excelsior и Lion, преобладала в популяции возбудителя в 2011 и 2013 гг. В 2012 г., согласно эмпирическому ключу, была выявлена раса 2, которая патогенна для сортов Hannchen, Excelsior, Lion и Trebi. В 2015 г. в популяции твердой головки отмечали появление нового изолята, преодолевшего устойчивость сорта Nepal, из дифференцирующего набора, который до этого года не поражался возбудителем. На наборе сортов-дифференциаторов этот изолят тестируется как 12-я раса, которая поражает сорта Excelsior, Hannchen, Lion, Nepal и Trebi. В Новосибирской области на протяжении четырнадцати лет сохраняет свою устойчивость сорт Pannier.

Таблица 1

Поражение сортов-дифференциаторов ярового ячменя возбудителем *U. hordei* (инфекционный фон 2009–2023 гг.)

Годы	Реакция сортов-дифференциаторов							Раса
	Excelsior	Himalaya	Hannchen	Lion	Nepal	Pannier	Trebi	
2009	5,9	0	6,3	10,8	0	0	17,5	7
2010	7,1	0	2,5	14,1	1,9	0	10,7	7
2011	20,0	0	12,9	22,6	0	0	0	3
2012	9,1	0	6,2	9,7	0	0	5,1	2
2013	10,0	0	21,1	33,3	0	0	0	3
2014	5,3	0	0	13,0	0	1,7	10,6	7
2015	11,8	1,4	16,5	15,7	10,8	0	20,0	12
2016–2023	9,76–19,7	7,2–28,2	9,0–38,2	0–7,5	0–8,2	0	8,3–22,0	13 Сиб

С 2016 г. генетическая структура популяции претерпела изменения, появилась новая раса, способная преодолеть устойчивость сорта Himalaya. Как видно из таблицы 1, популяция возбудителя *U. hordei* не дифференцируется последние восемь лет. Этой расе мы присвоили временный символ 13 Сиб, так как тип реакции не совпадает с известным ключом для определения рас. Тест-сорт Himalaya по ключу является иммунным ко всем 12 расам. В наших исследованиях данный сорт стал поражаться от 7,2 до 28,2 %.

Новая раса является патогенной для сортов Excelsior, Himalaya, Hannchen и Trebi. С 2016 г. (на протяжении восьми лет) сорта Excelsior и Hannchen, несущие гены *Ruh 2* и *Ruh 1*, показывают восприимчивую реакцию.

Возможность резких изменений расового состава возбудителя каменной головки определяется биологией патогена. Для *U. hordei* характерен ежегодный половой процесс при образо-

вании диплоидного паразитарного мицелия. К преодолению устойчивости иммунных сортов могут привести новые сочетания генов вирулентности гриба [7, 11].

С 2010 г. были проведены более широкие исследования по изучению расового состава *Ustilago hordei*. Для идентификации рас использовали споры с одного колоса, которым инокулировали сорта-дифференциаторы. Моносорусные изоляторы собирали на фитопатологическом участке и опытном поле отдела растительных ресурсов СибНИИРС, а также с полей Алтайского края, Тюменской, Кемеровской и Омской областей. Полученные результаты представлены в таблице 2. Раса 5, вирулентная для сортов Excelsior, Lion, выделена с сорта Ясный. С сорта ячменя Маяк выделен споры образец, к которому восприимчивы дифференциаторы Hannchen и Lion (раса 6).

Таблица 2

Дифференциация рас *U. hordei* на тест-сортах ячменя (инф. фон 2010–2020 гг.)

Споры образцы, выделенные с сорта	Место сбора инфекционного материала	Реакция сортов-дифференциаторов, %							
		Excelsior	Himalaya	Hannchen	Lion	Nepal	Pannier	Trebi	Раса
Ноктюрн	Фитоучасток лаб. иммунитета	S	R	S	S	R	R	S	2
Примэвара	Опытное поле СибНИИРС	R	R	S	R	R	R	R	4
Ясный	Опытное поле СибНИИРС	S	R	R	S	R	R	S	5
Маяк	Опытное поле СибНИИРС	R	R	S	S	R	R	S	6
Прикумский 47	Опытное поле СибНИИРС	R	R	R	S	R	R	S	7
Кузнецкий	Опытное поле СибНИИРС	R	R	R	S	R	R	S	7
Линия 91-2	Тюменская область	R	R	R	S	R	R	S	7
Колчан	Кулундинское поле	R	S	R	S	R	R	R	–
Алей	Алтайский край	R	R	R	R	S	R	R	–
Омский голозерный	Омская область	R	S	R	R	S	R	R	–
Линия 299-11	Кемеровская область	S	R	R	R	R	R	R	–

С сорта Примэвара выделена раса 4, которая патогенна для всех сортов кроме Himalaya, но агрессивна только для сорта Hannchen. Раса 7 с сортов Прикумский 47, Кузнецкий, а также с линии Тюменской селекции патогенна для сортов Lion, Trebi. С сорта Ноктюрн была выделена вторая раса, вирулентная для сортов Excelsior, Hannchen, Lion и Trebi. Споровые образцы, собранные с сортов Алтайского края, Омской и Кемеровской областей, не дифференцируются на расы.

Заключение. Многолетние исследования показали изменения в расовом составе популяции возбудителя *U. hordei* начиная с 2016 г. На это указывает снижение устойчивости сорта-дифференциатора Himalaya. По ключу для определения рас, рекомендованных ВИР (1984), в течение восьми лет наблюдений Новосибирская популяция не дифференцируется, поэтому нами был присвоен данной расе временный символ – 13 Сиб. Стабильную устойчивость к возбудителю каменной головки проявляет сорт Rappier. Сорта Hannchen и Excelsior, несущие гены устойчивости, в Новосибирской области являются восприимчивыми к возбудителю *U. hordei*.

Изучение популяционного состава возбудителя каменной головки ярового ячменя необходимо продолжить. Наблюдения за изменениями в составе популяций патогенов позволяют объяснить потерю устойчивости сортов, выявить и рекомендовать источники устойчивости для использования в селекционных работах.

Список источников

1. Галеев Р.Р., Самарин И.С., Андреева З.В. Пути повышения урожайности и качества ярового ячменя в северной лесостепи Новосибирского Приобья // Вестник НГАУ. 2017. № 1. С. 36–41.
2. Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Генетические ресурсы овса и ячменя для перспективных направлений селекции // Тр. по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 169. С. 65–71.
3. Резистентность к каменной головке сортов и коллекционных образцов двурядного ячменя в Западной Сибири / Л.Я. Плотникова [и др.] // Вестник Омского ГАУ. 2020. № 1.
4. Косых Л.А., Столпивская Е.В., Никонорова Ю.Ю. Влияние погодных условий на хозяйственно ценные признаки сортов ячменя ярового в лесостепной зоне Среднего По-

- волжья // Вестник КрасГАУ. 2022. № 1. С. 31–38. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-31-38.
5. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Новосибирской области. URL: <https://novosibstat.gks.ru/folder/32616> (дата обращения: 11.09.2023).
6. URL: <https://rosselhoccenter.ru/upload/iblock/812/ef06ml30nj0tikte594y3hs2nnikdq0o/2022-2023.pdf> (дата обращения: 11.09.2023).
7. Мешкова Л.В., Пяткова О.В. Мониторинг популяций возбудителей головневых заболеваний овса в Омской области // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 11 (157). С. 13–18.
8. Выявление источников устойчивости ярового ячменя к листовым болезням и каменной головке / Н.В. Шишкин [и др.] // Зерновое хозяйство России. 2020. № 5 (71). С. 86–90. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-86-90.
9. Степановских А.С. Головневые болезни ячменя. Челябинск, 1990. 400 с.
10. Кривченко В.И. Устойчивость зерновых колосовых к возбудителям головневых болезней / Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В.И. Ленина. М.: Колос, 1984. 304 с.
11. Мешкова Л.В., Николаев П.Н., Васюкевич С.В. Иммунологические исследования ячменя и овса по устойчивости к природным популяциям головневых заболеваний // Достижение науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 10. С. 43–49. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11006.
12. Орлова Е.А., Бехтольд Н.П. Характеристика генофонда яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по устойчивости к пыльной головке в условиях лесостепи Западной Сибири // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23 (5). С. 551–558. DOI: 10.18699/VJ19.524.
13. Заушинцева А.В., Сартакова С.В., Чуманова Н.Н. Расовая дифференциация видов головки овса в Западной Сибири // Доклады и сообщения 9-й генетико-селекционной школы-семинара. Новосибирск, 2005. С. 330–334.
14. Identification of resistance genes to barley covered smut and mapping of the *Ruh 1* gene using *Ustilago hordei* strains with defined avirulence genes / T.S. Grewal [et al.] // Plant pathology. 2008. V. 30. P. 277–284. DOI: 10.1080/07060661.2008.10540543.

References

1. Galeev R.R., Samarin I.S., Andreeva Z.V. Puti povysheniya urozhnosti i kachestva yarovogo yachmenya v severnoj lesostepi Novosibirskogo Priob'ya // Vestnik NGAU. 2017. № 1. S. 36–41.
2. Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Geneticheskie resursy ovsa i yachmenya dlya perspektivnyh napravlenij selekcii // Tr. po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2012. T. 169. S. 65–71.
3. Rezistentnost' k kamennoj golovne sortov i kollekcionnyh obrazcov dvuryadnogo yachmenya v Zapadnoj Sibiri / L.Ya. Plotnikova [i dr.] // Vestnik Omskogo GAU. 2020. № 1.
4. Kosyh L.A., Stolpivskaya E.V., Nikonorova Yu.Yu. Vliyanie pogodnyh uslovij na hozyajstvenno cennye priznaki sortov yachmenya yarovogo v lesostepnoj zone Srednego Povolzh'ya // Vestnik KrasGAU. 2022. № 1. S. 31–38. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-31-38.
5. Territorial'nyj organ Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Novosibirskoj oblasti. URL: <https://novosibstat.gks.ru/folder/32616> (data obrascheniya: 11.09.2023).
6. URL: <https://rosselhocenter.ru/upload/iblock/812/ef06ml30nj0tikte594y3hs2nnikdq0o/2022-2023.pdf> (data obrascheniya: 11.09.2023).
7. Meshkova L.V., Pyatkova O.V. Monitoring populjacij vzbuditelej golovnyh zabolevanij ovsa v Omskoj oblasti // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 11 (157). S. 13–18.
8. Vyavlenie istochnikov ustojchivosti yarovogo yachmenya k listovym boleznyam i kamennoj golovne / N.V. Shishkin [i dr.] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2020. № 5 (71). S. 86–90. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-86-90.
9. Stepanovskih A.S. Golovnevye bolezni yachmenya. Chelyabinsk, 1990. 400 s.
10. Krivchenko V.I. Ustojchivost' zernovyh kolosovyh k vzbuditelej golovnyh boleznej / Vsesoyuz. akad. s.-h. nauk im. V.I. Lenina. M.: Kolos, 1984. 304 s.
11. Meshkova L.V., Nikolaev P.N., Vasyukevich S.V. Immunologicheskie issledovaniya yachmenya i ovsa po ustojchivosti k prirodnyh populjacijam golovnyh zabolevanij // Dostizhenie nauki i tehniki APK. 2020. T. 34, № 10. S. 43–49. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11006.
12. Orlova E.A., Behtol'd N.P. Harakteristika genofonda yarovoj myagkoj pshenicy (*Triticum aestivum* L.) po ustojchivosti k pyl'noj golovne v uslovijah lesostepi Zapadnoj Sibiri // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2019. № 23 (5). S. 551–558. DOI: 10.18699/VJ19.524.
13. Zaushincena A.V., Sartakova S.V., Chumanova N.N. Rasovaya differenciaciya vidov golovni ovsa v Zapadnoj Sibiri // Doklady i soobshcheniya 9-j genetiko-selekcionnoj shkoly-seminara. Novosibirsk, 2005. S. 330–334.
14. Identification of resistance genes to barley covered smut and mapping of the *Ruh 1* gene using *Ustilago hordei* strains with defined avirulence genes / T.S. Grewal [et al.] // Plant pathology. 2008. V. 30. P. 277–284. DOI: 10.1080/07060661.2008.10540543.

Статья принята к публикации 12.02.2024 / The article accepted for publication 12.02.2024.

Информация об авторах:

Нина Павловна Бехтольд¹, научный сотрудник лаборатории генофонда растений, кандидат сельскохозяйственных наук

Елена Арнольдовна Орлова², ведущий научный сотрудник лаборатории генофонда растений, кандидат сельскохозяйственных наук

Information about the authors:

Nina Pavlovna Bechtold¹, Researcher at the Plant Gene Pool Laboratory, Candidate of Agricultural Sciences

Elena Arnoldovna Orlova², Leading Researcher at the Plant Gene Pool Laboratory, Candidate of Agricultural Sciences