ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

УДК 633.11:632.485.13 **DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-83-88**

РЕАКЦИЯ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ НА ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ТВЕРДОЙ ГОЛОВНИ (*TILLETIA CARIES* И *T. LAEVIS*) В УСЛОВИЯХ ТАТАРСТАНА

Данил Ф. Асхадуллин[1], кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник группы селекции яровой пшеницы, trulik@ya.ru, ORCID ID: 0000-0002-2606-6735;
Дамир Ф. Асхадуллин[1], кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник группы селекции яровой пшеницы, ORCID ID: 0000-0002-2717-7178;
Н.З. Василова[1], кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник группы селекции яровой пшеницы, ORCID ID: 0000-0003-1135-486x;
Е.В. Зуев[2], кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела генетических ресурсов пшеницы, e.zuev@vir.nw.ru, ORCID ID: 0000-0001-9259-438;
Э.З. Багавиева[1], кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник группы селекции яровой пшеницы, ORCID ID: 0000-0003-2659-2393;
М.Р. Тазутдинова[1], научный сотрудник группы селекции яровой пшеницы, ORCID ID: 0000-0002-4753-7644;
И.И. Хусаинова[1], младший научный сотрудник группы селекции яровой пшеницы, ORCID ID: 0000-0002-0369-6221
[1]Татарский НИИСХ – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, 420059, г. Казань, ул. Оренбургский тракт, 48;
[2]ФИЦ ВИГРР им. Н.И. Вавилова, 190031, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42–44

Твердая головня пшеницы (ТГ) – заболевание репродуктивных органов, при ведении малозатратного и органического земледелия производители зерна могут столкнуться с существенными потерями от этой болезни. Целью исследований был поиск устойчивых образцов к возбудителям ТГ в условиях Татарстана при искусственной инокуляции семян спорами головни. Были изучены сорта яровой пшеницы, рекомендованные к возделыванию в Республике Татарстан, почти изогенные линии сорта Red Bobs, несущие известные *Bt*-гены *Bt 1-10* из коллекции ВИГРР им. Н.И. Вавилова. При анализе видовой структуры популяции ТГ, распространенной в Татарстане в течение 9 лет (2012–2020 гг.), было выявлено, что вид *Tilletia caries* превалирует над *T. Levis*, и соотношение видов зависит от pH почвы перед посевом. Минимальное отношение численности спор видов *T. laevis* / *T. caries* в изучаемых образцах отмечалось при pH – 4,5. Коэффициент корреляции между показателями реакции почвенного раствора и соотношением видов составил 0,86 ($t_{факт} > t_{теор}$ при 1% уровне значимости). Высокоэффективными к татарстанской популяции ТГ за период 2018–2021 гг. являются гены *Bt 2*, *Bt 5*, *Bt 8*, *Bt 9*, *Bt 10*. У образцов M83-1621 (кат. ВИР 66238) – США и АС Cadillac (кат. ВИР 64565) – Канада, несущих ген *Bt 10*, признаки заболевания отсутствуют. Большая часть сортов, рекомендованных к возделыванию, – 65%, сильно- и очень сильно восприимчивы к ТГ. Слабо восприимчивы к ТГ три сорта: Черноземноуральская 2, Ситара и Бурлак.

Ключевые слова: *пшеница, твердая головня, Tilletia caries, Tilletia laevis, вирулентность.*

Для цитирования: *Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф., Василова Н.З., Зуев Е.В., Багавиева Э.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И. Реакция яровой мягкой пшеницы на возбудителей твердой головни (Tilletia caries и T. laevis) в условиях Татарстана // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 2. С. 83–88. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-83-88.*

(cc) BY

SPRING BREAD WHEAT RESPONSE TO KERNEL SMUT PATHOGENS (*TILLETIA CARIES* AND *T. LAEVIS*) IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Danil F. Askhadullin[1], Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the spring wheat breeding group, trulik@ya.ru, ORCID ID: 0000-0002-2606-6735;
Damir F. Askhadullin[1], Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the spring wheat breeding group, ORCID ID: 0000-0002-2717-7178;
N.Z. Vasilova[1], Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the spring wheat breeding group, ORCID ID: 0000-0003-1135-486x;
E.V. Zuev[2], Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of wheat genetic resources, e.zuev@vir.nw.ru, ORCID ID: 0000-0001-9259-438;
E.Z. Bagavieva[1], Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the spring wheat breeding group, ORCID ID: 0000-0003-2659-2393;
M.R. Tazutdinova[1], researcher of the spring wheat breeding group, ORCID ID: 0000-0002-4753-7644;
I.I. Khusainova[1], junior researcher of the spring wheat breeding group, ORCID ID: 0000-0002-0369-6221
[1]Tatar RIA, a separate structural subdivision of the FRC KazRC RAS, 420059, Kazan, Orenburgsky Trakt Str., 48;
[2]All-Russian Institute of genetic resources of plants named after N.I. Vavilov, 190031, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya Str., 42/44

Wheat kernel smut (KS) is a disease of the reproductive organs. With low-cost and organic farming, grain farmers can face significant losses from this disease. The purpose of the current study was to identify resistant samples to KS pathogens in the Republic of Tatarstan during artificial inoculation of seeds with smut spores. There have been studied the spring wheat varieties recommended for cultivation in the Republic of Tatarstan, almost isogenic lines of the Red Bobs variety carrying the known *Bt*-genes *Bt 1–10* from the collection of the All-Russian Institute of Genetic Resources of Plants named after N.I. Vavilov. When analyzing the species structure of the KS population spread in Tatarstan for 9 years (2012–2020), it was found that the species *Tilletia caries* prevailed over *T. levis* and the ratio of species depended on the soil pH before sowing. The minimum ratio of the number of spores of *T. laevis* / *T. caries* species in the studied samples was noted at the soil pH of 4.5. The correlation coefficient between indicators of soil solution response and species ratio was 0.86 (tfact>ttheor at 1% significance level). The genes *Bt 2*, *Bt 5*, *Bt 8*, *Bt 9*, *Bt 10* were highly effective for the Tatarstan KS population in the period of 2018–2021. The samples 'M83-1621' (cat. VIR 66238) of the USA and 'AC Cadillac' (cat. VIR 64565) of Canada carrying the *Bt 10* gene had no signs of the disease. Most of the varieties recommended for cultivation (65%) are highly and very strongly susceptible to KS. Three varieties 'Chernozemnouralskaya 2', 'Sitara' and 'Burlak' are found weakly susceptible to KS.

Keywords: *wheat, kernel smut, Tilletia caries, Tilletia laevis, virulence.*

Введение. Твердая головня – одно из наиболее вредоносных заболеваний пшеницы (Wilcoxson and Saari, 1996). Инфицирование растений происходит при прорастании зерна телиоспорами, в основном сохранившимися на поверхности зерна, до цветения болезнь протекает бессимптомно, признаки болезни заметны в молочно-восковую спелость, вместо зерна формируются сорусы со споровым содержимым, которые при обмолоте зерна частично разрушаются и заспоряют семена, происходит повторное заражение семян. Данное заболевание приводит не только к прямым потерям урожая, но и к потере качества зерна даже при низком уровне инфицирования (Nagy and Moldovan, 2007). Было показано влияние зараженного головней зерна пшеницы при скармливании мышам альбиносам на увеличение печени и селезенки с острой клеточной дегенерацией и мультифокальными гранулематозными изменениями, это токсическое действие связывают с продуцируемым грибом – триметиламином (веществом, имеющим зловонный запах селедочного рассола) (Abdullah et al., 2010). Твердая головня считается неопасной болезнью в интенсивном земледелии, так как споры гриба хорошо подавляются химическими фунгицидами, различных классов при предпосевном протравливании (Hofmann and Waldher, 1981; Asif et al., 2021). Однако при ведении малозатратного и органического земледелия производители зерна могут столкнуться с существенными потерями от этой болезни (Matanguihan et al., 2011б). При этом немного сортов имеют устойчивость к данному заболеванию, среди 10759 образцов пшеницы из национальной коллекции злаков США (National Small Grains Collection of USDA-ARS) устойчивы только 5,5% (Bonman et al., 2006). Схожие результаты, но при меньшей выборке (137 образцов), получены и в России – 3,8% (Дерова и др., 2018). Твердую головню пшеницы вызывают в основном два родственных гриба *Tilletia caries* (DC.) Tul. [син. *T. tritici* (Bjerk.) Wint.] и *T. laevis* Kühn [син. *T. foetida* (Wallr.) Liro], различающиеся по морфологии спор. Вид *T. caries* более специфичен для северных регионов возделывания, *T. laevis* – для южных и юго-восточных (Зеленева и др., 2017). В условиях Татарстана были выявлены оба вида, при этом *T. laevis* встречается в значительно меньшей степени, чем *T. caries* (Василова и др., 2017). Вирулентность *T. caries* и *T. laevis* регулируется одним и тем же набором генов в связи с их тесной генетической связью (Goates, 2012). В настоящее время идентифицировано более шестнадцати генов в геноме пшеницы, отвечающих за расовоспецифическую устойчивость к возбудителям твердой головни (Stefan et al., 2017). Среди них Bt10 показывает максимальную эффективность и высокую экспрессию (Bokore et al., 2019). В популяциях возбудителя твердой головни пшеницы идет формообразование (Яруллина и др., 2014; Matanguihan et al., 2011a), и эффективность источников устойчивости может снижаться. В этой связи целью наших исследований был поиск устойчивых образцов к возбудителям твердой головни в условиях Татарстана при искусственной инокуляции семян спорами головни. Это позволяет рекомендовать выделенные устойчивые образцы для испытания в системе органического и малозатратного земледелия и селекционных программах на иммунитет.

Материалы и методы исследований. Изучение образцов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к возбудителям твердой головни проводили на фоне искусственного заражения в полевых условиях. Соотношение видов возбудителей твердой головни изучали в период с 2012 по 2020 год. Вирулентность татарстанской популяции твердой головни изучали в период 2018–2021 годов. Оценку восприимчивости сортов яровой мягкой пшеницы к твердой головне проводили в годы с благоприятным инфекционным фоном – в 2017, 2018 и 2020-м, когда степень поражения у восприимчивого стандарта составила более 50%. Полевые испытания проводились на полях экспериментальной базы Татарского НИИСХ, расположенного в северной части Среднего Поволжья, в 15 км южнее города Казань. Погодные условия в весенне-летний период в месте испытания были характерны для лесостепной зоны Поволжья с частыми засухами и высокими температурами, исключение – аномальные 2017 и 2019 гг., характеризовавшиеся избыточным увлажнением. Почва серая лесная, тяжелосуглинистая. Заражение семян проводили весной перед посевом путем инокулирования сухих семян (Кривченко, Хохлова, 2008). Инокулюм собирался с районированных

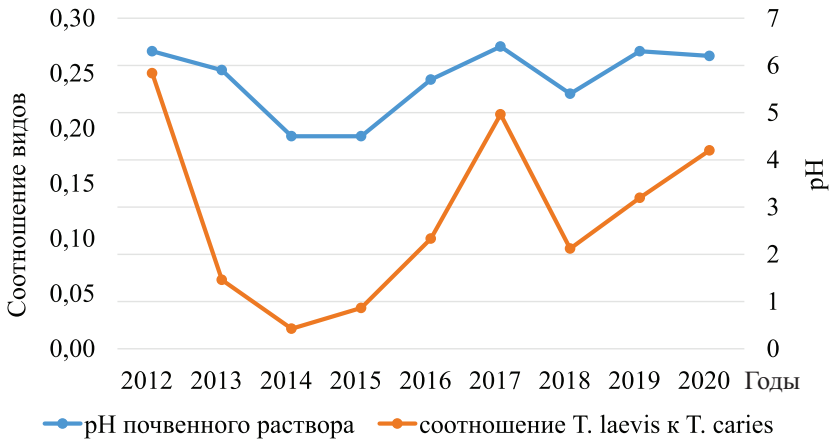
сортов в предшествующий посеву год. Посев проводили в двукратной повторности, в повторности два рядка длиной 1 м, междурядье 15 см, норма высева 250 семян, глубина посева 8–10 см. Срок посева – конец апреля – начало мая, при первой технической возможности посева. Оценку на устойчивость к твердой головне проводили в фазу молочно-восковой спелости. Степень поражения определяли по количеству колосьев с признаками болезни к общему количеству подсчитанных колосьев в процентах. Оценку устойчивости или восприимчивости образцов проводили по шкале, предложенной нами ранее (табл. 1) (Василова и др., 2017).

Таблица 1. Шкала оценки устойчивости/восприимчивости к твердой головне
Table 1. Rating scale for kernel smut resistance/susceptibility

№ п/п	Группа	Степень поражения, %
1	Высокоустойчивые	0
2	Слабовосприимчивые	до 15
3	Средневосприимчивые	до 30
4	Сильновосприимчивые	31–60
5	Очень сильно восприимчивые	Более 60

Анализ семян яровой пшеницы на выявление возбудителей головневых болезней проводили методом обмывки семян (суспензии спор) и центрифугирования по ГОСТ 12044-93. Идентификацию видов проводили по морфологии спор (Наумова, 1970). По реакции яровой мягкой пшеницы на возбудителей твердой головни были изучены 26 сортов яровой пшеницы, рекомендованные к возделыванию в Республике Татарстан, почти изогенные линии сорта Red Bobs, несущие известные *Bt*-гены *Bt 1–10*, из коллекции ВИГРР им. Н.И. Вавилова.

Результаты и их обсуждение. Изучение видового состава возбудителей твердой головни в посевах яровой пшеницы в течение 9 лет (2012–2020 гг.) показало, что во все годы в отобранных образцах присутствуют телеоспоры двух видов – *T. caries* и *T. laevis*, существенное доминирование первого вида отмечается во все годы изучения, соотношение видов *T. laevis* / *T. caries* изменялось от 1/55 в 2014 г. до 1/4 в 2012 г., в среднем за 9 лет 1/8. Условия для инфицирования твердой головней в годы изучения (температура, влажность почвы, pH среды) различались, попытка связать преобладание численности спор вида *T. caries* над *T. laevis* в урожае с различиями температуры почвы на глубине 5 см в период посева – прорастания семян за несколько лет изучения, предпринятая нами ранее, не нашла подтверждения (Василова и др., 2017). При изучении влияния pH почвенного раствора перед посевом на соотношение видов в течение 9 лет прослеживается устойчивая тенденция – чем выше pH, тем больше численность спор *T. levis* в споровой массе полученного урожая (см. рисунок).



Соотношение видов возбудителей твердой головни и pH почвенного раствора перед посевом на участке выращивания пшеницы
Ratio of species of kernel smut pathogens and the soil solution pH in the area of wheat cultivation before sowing

Минимальное отношение численности спор видов *T. laevis* / *T. caries* в изучаемых образцах отмечалось при pH – 4,5. Коэффициент корреляции между показателями реакции почвенного раствора и соотношением видов составил 0,86 (корреляционная связь существенна при 1%-м уровне значимости).

При анализе вирулентности популяции твердой головни, циркулирующей в Татарском НИИСХ и, вероятно, охватывающей

Средневолжский регион, выявлено, что высокоэффективными остаются гены *Bt 2*, *Bt 5*, *Bt 8*, *Bt 9*, *Bt 10*, при этом у образцов, несущих ген *Bt 10*, признаки заболевания отсутствуют (табл. 2).

Таблица 2. Вирулентность татарстанской популяции твердой головни пшеницы
Table 2. Virulence of the Tatarstan wheat kernel smut population

Тестируемая линия, сорт	Ген	№ по каталогу ВИР	Степень поражения 2018–2021 гг., %	Стандартное отклонение (SD)	Вирулентность*
M83-1531	*Bt 1*	66229	20,9	23	+
M83-1541	*Bt 2*	66230	7,1	8	–
M83-1551	*Bt 3*	66231	20,4	23	+
M81-152	*Bt 4*	66232	17,5	26	+
M83-1581	*Bt 5*	66233	1,3	3	–
M83-1591	*Bt 6*	66234	15,5	15	+
M83-1601	*Bt 7*	66235	28,3	33	+
M78-9496	*Bt 8*	66236	2,1	3	–
M77-1140	*Bt 9*	66237	5,0	10	–
M83-1621	*Bt 10*	66238	0,0	0	–
AC Cadillac	*Bt 10*	64565	0,0	0	–
Челяба Степная, восприимчивый, ст.	–	64872	46,5	37	+

** Степень поражения 0–15% – авирулентная реакция (–), более 15% – вирулентная реакция (+).*

Среди 26 рекомендованных Госсорткомиссией к возделыванию в республике Татарстан на 2021 г. сортов яровой мягкой пшеницы слабовосприимчивыми к твердой головне оказались только три: Черноземноуральская 2, Ситара и Бурлак. Большая часть сортов сильно- и очень сильно восприимчивы к твердой головне, иммунные сорта отсутствуют (табл. 3).

Таблица 3. Степень поражения сортов яровой мягкой пшеницы твердой головней на искусственном инфекционном фоне (2017, 2018, 2020 гг.)
Table 3. Kernel smut damage degree of the spring bread wheat varieties on an artificial infectious background (2017, 2018, 2020)

Сорт	Степень поражения, %	Стандартное отклонение (SD)	Группа
Черноземноуральская 2	9	8	слабовосприимчивые
Ситара	5	1	
Бурлак	4	5	
Балкыш	24	14	средневосприимчивые
Экада 66	25	13	
Симбирцит	23	16	
Злата	23	18	
Архат	18	12	
Экада 214	30	21	
Тулайковская 10	50	22	сильновосприимчивые
Казанская Юбилейная	47	12	
Эстер	38	11	
Экада 70	33	24	
Маргарита	46	29	
Экада 109	32	13	
Экада 113	31	21	
Йолдыз	53	3	
Иделле	48	21	
Хаят	60	15	
Тулайковская 108	47	33	
Уралосибирская	48	25	
Екатерина	50	35	
Аль Варис	31	24	
Ульновская 105	27	17	
Тулайковская Надежда	67	35	очень сильно восприимчивые
Челяба Степная	75	18	

Популяционная структура твердой головни претерпевает изменения. Широко распространенные в производстве Среднего Поволжья сорта Симбирцит, Злата, Маргарита, Экада 70, Экада 66, Экада 109 имели высокую устойчивость к твердой головне до 2016 г. (Василова

и др., 2017), но к настоящему времени их устойчивость сильно снижается.

Вирулентность популяции твердой головни, распространенной в Татарстане, отличается от популяции, распространенной в Центрально-Черноземном регионе, где высоко эффективным остается ген *Bt 4* и не эффективен ген *Bt 2* (Репникова и др., 2020).

Выводы. Возбудителями твердой головни, распространенной в Татарстане, являются два вида – *Tilletia caries* и *T. laevis*, количество спор *T. caries* в собранной споровой массе превалирует над *T. laevis*. При этом кислотность почвы является одним из регуляторов численности видов, вызывающих твердую головню. Из 10 доминантных генов устойчивости к твердой головне, наиболее широко представленных в коммерческих сортах, остаются эффективными в условиях Татарстана 5 (*Bt 2*, *Bt 5*, *Bt 8*, *Bt 9*, *Bt 10*). У образцов, несущих ген *Bt 10*, признаков болезни не регистрировалось. Образцы, несущие ген *Bt 10*, могут быть использованы как надежный источник в селекции на иммунитет к твердой головне. Из рекомендованных к возделыванию в Республике Татарстан сортов яровой мягкой пшеницы слабовосприимчивы к твердой головне три сорта: Черноземноуральская 2, Ситара и Бурлак, которые подходят по этому параметру для испытания в системе органического и малозатратного земледелия.

Статья подготовлена в рамках государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН «Эколого-генетические подходы к созданию и сохранению ресурсов растений и животных, расширению их адаптивного потенциала и биоразнообразия, разработка сберегающих агротехнологий с целью повышения устойчивости производства высококачественной продукции, достижения безопасности для здоровья человека и окружающей среды».

Библиографические ссылки

1. Василова Н.З., Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф., Зайцева Т.В., Багавиева Э.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И., Насихова Г.Р. Восприимчивость яровой мягкой пшеницы к татарстанской популяции твердой головни // Зерновое хозяйство России. 2017. № 5(53). С. 8–11.

2. Дерова Т.Г., Шишкин Н.В., Павленко О.С. Устойчивость сортов и коллекционных образцов озимой мягкой пшеницы к комплексу наиболее вредоносных болезней в условиях Нижнего Дона // Зерновое хозяйство России. 2018. № 6(60). С. 68–72.

3. Зеленева Ю.В., Плахоткин В.В., Судникова В.П. Структура патогенных свойств популяции возбудителя твердой головни пшеницы (*Tilletia caries* (D.C.) Tul) в Центрально-Черноземном регионе // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. 2017. Т. 22. Вып. 2. С. 404–410.

4. Кривченко В.И., Хохлова А.П. Головневые болезни зерновых культур // Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. Под ред. Е.Е. Радченко. М.: Россельхозакадемия, 2008. С. 32–85.

5. Наумова Н.А. Анализ семян на грибную и бактериальную инфекцию. М.: Колос, 1970. 208 с.

6. Репникова Е.Г., Зеленева Ю.В., Судникова В.П. Головневые болезни пшеницы на территории Центрально-Черноземного заповедника, выявление источников и доноров устойчивости // Научные труды СКФНЦСВВ. 2020. Т.29. С. 214–221. DOI:10.30679/2587-9847-2020-29-214-221.

7. Яруллина Л.Г., Трошина Н.Б., Сурина О.Б., Кулуев Б.Р., Исаев Р.Ф., Ахатова А.Р., Касимова Р.И., Яруллина Л.М., Ибрагимов Р.И. Морфофизиологическая и генетическая характеристика возбудителя твердой головни пшеницы *Tilletia caries* из агроценозов Южного Урала с различной пестицидной нагрузкой // Агрохимия. 2014. № 2. С. 60–65.

8. Abdullah T.S., Hashim A.J., Mustafa B.I. Study the pathological effects of covered smut infected wheat in albino mice Iraqi // Journal of Biotechnology. 2010. Vol. 9. Iss. 2. P. 248–257.

9. Asif M., Strydhorst S., Strelkov S.E., Terry A., Harding M.W., Feng J., Yang R.C. Evaluation of disease, yield and economics associated with fungicide timing in Canadian Western Red Spring wheat // Canadian Journal of Plant Science. 2021. e-First P. 1–18. DOI: 10.1139/cjps-2020-0318.

10. Bokore F.E., Cuthbert R.D., Knox R.E., Singh A., Campbell H.L., Pozniak C.J., N'Diaye A., Sharpe A.G., Ruan Y. Mapping quantitative trait loci associated with common bunt resistance in a spring wheat (*Triticum aestivum* L.) variety Lillian // Theoretical and Applied Genetics. 2019. Vol. 132. P. 3023–3033. DOI:10.1007/s00122-019-03403-3.

11. Bonman M.J., Bockelman H.E., Goates B.J., Obert D.E., McGuire P.E., Qualset C.O., Hijmans R.J. Geographic Distribution of Common and Dwarf Bunt Resistance in Landraces of Triticum aestivum subsp. aestivum // Crop Science. 2006. Vol.46. Iss.4. P. 1622–1629. DOI:10.2135/cropsci2005.12-0463.

12. Goates B.J. Identification of New Pathogenic Races of Common Bunt and Dwarf Bunt Fungi, and Evaluation of Known Races Using an Expanded Set of Differential Wheat Lines // Plant Disease. 2012. Vol.96 №.3. P. 361–369 DOI:10.1094/ PDIS-04-11-0339.

13. Hofmann J.A., Waldher J.T. Chemical seed treatments for controlling seedborne and soilborne common bunt of wheat // Plant Disease. 1981 Vol. 65. № 3. P. 256–259.

14. Matanguihan J.B., Jones S.S. A New Pathogenic Race of Tilletia caries Possessing the Broadest Virulence Spectrum of Known Races // Plant Health Progress. 2011. Vol. 12. № 1. P. 1–9. DOI:10.1094/PHP-2010-0520-01-RS.

15. Matanguihan J.B., Murphy K.M., Jones, S.S. Control of common bunt in organic wheat // Plant Disease. 2011. Vol. 95. № 2. P. 92–103. DOI: 10.1094/PDIS-09-10-0620.

16. Nagy E., Moldovan V. The effect of fungicide treatments on wheat common bunt (Tilletia spp.) in Transylvania // Romanian agricultural research. 2007. № 24. P. 33–38.

17. Stefan P.M., Torp A.M., Borgen A., Backes G., Rasmussen S.K. Mapping of common bunt resistance gene Bt9 in wheat // Theoretical and Applied Genetics. 2017. Vol. 130. P. 1031–1040. DOI:10.1007/s00122-017-2868-6.

18. Wilcoxson, R.D., Saari E.E. Bunt and Smut Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management. Mexico, D.F.: CIMMYT, 1996. 67 p.

References

1. Vasilova N.Z., Askhadullin Danil F., Askhadullin Damir F., Zaitseva T.V., Bagavieva E.Z., Tazutdinova M.R., Khusainova I.I., Nasikhova G.R. Vospriimchivost' yarovoi myagkoi pshenitsy k tatarstanskoi populyatsii tverdoi golovni [Susceptibility of spring bread wheat to the Tatarstan kernel smut population] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2017. № 5(53). S. 8–11.

2. Derova T.G., Shishkin N.V., Pavlenko O.S. Ustoichivost' sortov i kollektsionnykh obraztsov ozimoi myagkoi pshenitsy k kompleksu naibolee vredonosnykh boleznei v usloviyakh Nizhnego Dona [Resistance of varieties and collection samples of winter bread wheat to the complex of the most harmful diseases in the conditions of the Lower Don] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 6(60). S. 68–72.

3. Zeleneva Yu.V., Plakhotkin V.V., Sudnikova V.P. Struktura patogennykh svoistv populyatsii vozbuditelya tverdoi golovni pshenitsy (*Tilletia caries* (D.C.) Tul) v Tsentral'no-Chernozemnom regione [The structure of pathogenic properties of the population of wheat kernel smut pathogen (*Tilletia caries* (D.C.) Tul) in the Central Blackearth region] // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2017. T. 22. Vyp.2. S. 404–410.

4. Krivchenko V.I., Khokhlova A.P. Golovnevye bolezni zernovykh kul'tur [The study of genetic resources of grain crops for resistance to pests] // Izuchenie geneticheskikh resursov zernovykh kul'tur po ustoichivosti k vrednym organizmam. Pod red. E.E. Radchenko. M.: Rossel'khozakademiya, 2008. S. 32–85.

5. Naumova N.A. Analiz semyan na gribnuyu i bakterial'nuyu infektsiyu [Seed analysis for fungal and bacterial infection]. M.: Kolos, 1970. 208 s.

6. Repnikova E.G., Zeleneva Yu.V., Sudnikova V.P. Golovnevye bolezni pshenitsy na territorii Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika, vyyavlenie istochnikov i donorov ustoichivosti [Smut diseases of wheat in the territory of the Central Blackearth Reserve, identification of sources and donors of resistance] // Nauchnye trudy SKFNTsSVV. 2020. T.29. S. 214–221. DOI:10.30679/2587-9847-2020-29-214-221.

7. Yarullina L.G., Troshina N.B., Surina O.B., Kuluev B.R., Isaev R.F., Akhatova A.R., Kasimova R.I., Yarullina L.M., Ibragimov R.I. Morfofiziologicheskaya i geneticheskaya kharakteristika vozbuditelya tverdoi golovni pshenitsy Tilletia caries iz agrotsenozov Yuzhnogo Urala s razlichnoi pestitsidnoi nagruzkoi [Morphophysiological and genetic characteristics of the wheat kernel smut pathogen Tilletia caries from agrocenoses of the Southern Urals with different pesticide load] // Agrokhimiya. 2014. № 2. S. 60–65.

8. Abdullah T.S., Hashim A.J., Mustafa B.I. Study the pathological effects of covered smut infected wheat in albino mice Iraqi // Journal of Biotechnology. 2010. Vol. 9. Iss. 2. P. 248–257.

9. Asif M., Strydhorst S., Strelkov S.E., Terry A., Harding M.W., Feng J., Yang R.C. Evaluation of disease, yield and economics associated with fungicide timing in Canadian Western Red Spring wheat // Canadian Journal of Plant Science. 2021. e-First R. 1–18. DOI: 10.1139/cjps-2020-0318.

10. Bokore F.E., Cuthbert R.D., Knox R.E., Singh A., Campbell H.L., Pozniak C.J., N'Diaye A., Sharpe A.G., Ruan Y. Mapping quantitative trait loci associated with common bunt resistance in a spring wheat (*Triticum aestivum* L.) variety Lillian // Theoretical and Applied Genetics. 2019. Vol. 132. R. 3023–3033. DOI:10.1007/s00122-019-03403-3.

11. Bonman M.J., Bockelman H.E., Goates B.J., Obert D.E., McGuire P.E., Qualset C.O., Hijmans R.J. Geographic Distribution of Common and Dwarf Bunt Resistance in Landraces of Triticum aestivum subsp. aestivum // Crop Science. 2006. Vol.46. Iss.4. P. 1622–1629. DOI:10.2135/cropsci2005.12-0463.

12. Goates B.J. Identification of New Pathogenic Races of Common Bunt and Dwarf Bunt Fungi, and Evaluation of Known Races Using an Expanded Set of Differential Wheat Lines // Plant Disease. 2012. Vol.96 №.3. P. 361–369 DOI: 10.1094/ PDIS-04-11-0339.

13. Hofmann J.A., Waldher J.T. Chemical seed treatments for controlling seedborne and soilborne common bunt of wheat // Plant Disease. 1981 Vol. 65. N3. P.256–259.

14. Matanguihan J.B., Jones S.S. A New Pathogenic Race of Tilletia caries Possessing the Broadest Virulence Spectrum of Known Races // Plant Health Progress. 2011. Vol. 12. № 1. R. 1–9. DOI:10.1094/ PHP-2010-0520-01-RS.

15. Matanguihan J.B., Murphy K.M., Jones, S.S. Control of common bunt in organic wheat // Plant Disease. 2011. Vol. 95. № 2. R. 92–103. DOI: 10.1094/PDIS-09-10-0620.

16. Nagy E., Moldovan V. The effect of fungicide treatments on wheat common bunt (Tilletia spp.) in Transylvania // Romanian agricultural research. 2007. № 24. P. 33–38.

17. Stefan P.M., Torp A.M., Borgen A., Backes G., Rasmussen S.K. Mapping of common bunt resistance gene Bt9 in wheat // Theoretical and Applied Genetics. 2017. Vol. 130. P. 1031–1040. DOI:10.1007/s00122-017-2868-6.

18. Wilcoxson, R.D., Saari E.E. Bunt and Smut Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management. Mexico, D.F.: CIMMYT, 1996. 67 r.

Поступила: 09.11.21; доработана после рецензирования: 01.02.22; принята к публикации: 09.02.22.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф. – сбор и анализ данных, их интерпретация, подготовка рукописи; Василова Н.З. – концептуализация исследования; Зуев Н.В. – курирование генетической коллекции пшеницы; Багавиева Э.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И.– подготовка опыта, выполнение полевых опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.