

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

УДК 632.482.19:633.14

DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-73-78

РАЗВИТИЕ СПОРЫНЬИ НА НИЗКОПЕНТОЗАНОВОЙ ДИПЛОИДНОЙ ОЗИМОЙ РЖИ

В.Д. Кобылянский, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела генетических ресурсов овса, ржи, ячменя, osolodukhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2193-8105;

О.В. Солодухина, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела генетики osolodukhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-3117-6693
ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190031, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44; e-mail: secretary@vir.nw.ru

Спорынья (*Claviceps purpurea* (Fr) Tul.) – широко распространенное заболевание ржи. Сильное развитие болезни способно снизить до 60% урожайности зерна и его качество. Среди генофонда ржи не обнаружено образцов, полностью устойчивых к *Cl. purpurea*. Начиная с 2016 года, в России допущены к возделыванию шесть новейших сортов озимой ржи с низким содержанием водорастворимых пентозанов в зерне. Замечено, что низкопентозановые сорта в меньшей степени поражаются спорыньей. Вредоносное влияние болезни во многом зависит от параметров склероциев. Цель исследования – охарактеризовать развитие спорыньи на растениях высокопентозанового сорта озимой ржи Эра и его низкопентозанового аналога сорта Новая Эра. Были оценены зараженность сортов, размеры и масса сформировавшихся склероциев. Установлено, что при одинаковом уровне инфекционной нагрузки зараженность сорта Эра составила 48,5, а Новая Эра – 18,1%. На колосьях высокопентозановой ржи формировались полноценные склероции, размером 15,97–23,55 мм в длину и 2,68–3,83 мм в ширину. На низкопентозановой ржи Новая Эра гриб образовал слаборазвитые склероции, масса которых была в 4–8 раз меньше, чем на сорте Эра. Малый размер и масса рожков способствуют их удалению из урожая при обмолоте и снижают засоренность зерна ржи спорыньей. На зараженность ржи болезнью влияет частота низкопентозановых растений, встречающихся в сортовой популяции. Частота низкопентозановых растений в сорте Эра составляет 43, а Новая Эра – 95%. Создание сортов ржи, характеризующихся низким содержанием водорастворимых пентозанов в зерне, сопряжено с селекцией на устойчивость к *Cl. purpurea*.

Ключевые слова: рожь, водорастворимые пентозаны, *Claviceps purpurea*, параметры склероциев.

Для цитирования: Кобылянский В. Д., Солодухина О.В. Развитие спорыньи на низкопентозановой диплоидной озимой ржи // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 73–78. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-73-78.



ERGOT DEVELOPMENT ON LOW-PENTOSAN DIPLOID WINTER RYE

V.D. Kobylansky, Doctor of Biological Sciences, professor, main researcher of the department of genetic resources of oats, rye, barley; osolodukhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2193-8105;

O.V. Solodukhina, Doctor of Biological Sciences, docent, leading researcher of the department of genetics; osolodukhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-3117-6693
All-Russian Institute of genetic resources of plants named after N.I. Vavilov, 190031, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya Str., 42/44; e-mail: secretary@vir.nw.ru

Ergot (*Claviceps purpurea* (Fr) Tul.) is a widespread rye disease. A strong development of the disease can reduce up to 60% of grain productivity and its quality. In the rye gene pool, there was found no samples with complete resistance to *Cl. purpurea*. Since 2016, six new winter rye varieties with a low content of water-soluble pentosans in grain have been approved for cultivation in Russia. It has been noticed that low-pentosan varieties are less affected by ergot. The harmful effect of the disease largely depends on the sclerotia parameters. The purpose of the current study was to characterize the development of ergot on the high-pentosan winter rye variety 'Era' and its low-pentosan analogue 'Novaya Era'. There was estimated the infestation of the varieties, the size and weight of the formed sclerotia. It was found that with the same infection level, the infestation of the variety 'Era' was 48.5%, and that of the variety 'Novaya Era' was 18.1%. On the heads of high-pentosan rye there were formed full-fledged sclerotia with 15.97–23.55 mm in length and 2.68–3.83 mm in width. On the heads of low-pentosan rye 'Novaya Era' the fungus formed underdeveloped sclerotia, the mass of which was 4–8 times less than on the variety 'Era'. The small size and weight of the horns facilitated their removal from the crop during threshing, and reduced rye grain infection with ergot. The frequency of low-pentosan plants occurring in the varietal population affects the infection rate of rye. The frequency of low-pentosan plants in the variety 'Era' is 43%, and in the variety 'Novaya Era' is 95%. The development of rye varieties characterized by a low content of water-soluble pentosans in grain is connected with breeding for resistance to *Cl. purpurea*.

Keywords: rye, water-soluble pentosans, *Claviceps purpurea*, sclerotia parameters.

Введение. Спорынья (*Claviceps purpurea* (Fr) Tul.) – широко распространенное заболевание ржи. Снижение урожайности зерна от болезни может достигать 60% и происходит в большин-

стве случаев за счет уменьшения числа зерен в колосе, массы зерна с колоса и массы 1000 зерен (Шешегова и Щеклеина, 2017). Наличие рожков в зерне ржи сильно снижает его посев-

ное и пищевое качество. Ядовитые вещества (алкалоиды), вырабатываемые грибом, способны вызывать у людей и животных смертельное заболевание эрготизм. Спектр алкалоидов и их количество может зависеть от географического происхождения склероциев и видовой принадлежности растений-хозяев (Шешегова и др., 2019; Pazoutova et al., 2000). Для определения качества зерна ржи, пригодного для хлебопекарной и комбикормовой промышленности, существуют ГОСТы. Согласно Российскому ГОСТу 16990-88 г., в зерне ржи «группы А» (для переработки в муку) допускается 0,25% весовой массы склероциев, а у «группы Б» (для использования на корм животным) – 0,5% склероциев (Шешегова и др., 2019). В странах Европейского Союза используются более жесточайшие требования, предусматривающие засорение склероциями *Cl. purpurea*. Массы зерна ржи, используемого на пищевые цели не более 0,05%, а на кормовые цели – меньше 0,1% (Miedaner and Geiger, 2015).

На устойчивость ржи к спорынье влияют быстрота оплодотворения цветков, уровень пыльцевого режима и уровень иммунитета растений. Недостаточность пыльцевого режима у гибридных сортов ржи, созданных на основе ЦМС, способствуют увеличению их поражения возбудителем болезни (Miedaner and Geiger, 2015). По сравнению с этим популяционные ржи в меньшей степени, чем гибридные поражаются *Cl. purpurea*. Иммунологов и селекционеров давно интересуют вопросы поиска исходного материала для селекции на устойчивость к спорынье. Исследования показали, что среди генофонда *Secale cereale* L. не обнаружено полностью устойчивых к *Cl. purpurea* образцов (Хазиев и Пономарева, 2007).

К достижениям в области селекции ржи в последние годы (2004–2016) можно отнести создание низкопентозановых сортов. Водорастворимые пентозаны (арабино-кисланы) относятся к 5-углеродным полимерам, содержание которых в зерне ржи в 3 раза больше, чем в зерне других зерновых культур. Избыточное их количество делает зерно ржи ограниченно пригодным для кормления сельскохозяйственных животных. Начиная с 2016 года, как результат совместных исследований сотрудников ВИР и ведущих селекционеров страны, впервые в мире создано и районировано шесть сортов озимой ржи с низким содержанием водорастворимых пентозанов в зерне для возделывания в различных регионах РФ (Кобылянский и др., 2017). Эти сорта пригодны для универсального использования в хлебопекарной, комбикормовой и перерабатывающей промышленности. Нами было замечено, что низкопентозановые сорта слабо поражаются спорыньей. Специальных исследований, изучающих связь признака низкопентозановости сортов с их устойчивостью к спорынье, в нашей стране и за рубежом не проводилось. Это послужило мотивацией для дальнейшего исследования и осмысления выявленного факта.

Обычно при поражении ржи спорыньей на колосьях растений вместо зерна можно обнаружить склероции, которые представляют собой компактную массу грибного мицелия. Осенью после созревания ржи склероции опадают на почву и остаются там до весны. В начале лета в период цветения ржи происходит заражение не успевших оплодотвориться цветков аскоспорами гриба, образовавшихся в плодовых телах, проросшего склероция. Споры прорастают на рыльце цветка, поражают основание завязи, разрушают ее, занимая место несостоявшейся зерновки. Используя поступающий в цветок питательный раствор, развивается грибница и образуется клейкая сладкая жидкость – «медвяная роса», в которой развиваются конидиоспоры гриба. Насекомые, лакомясь сладкой «медвяной росой», переносят на своих лапках конидиоспоры и вторично заражают ими другие цветущие колосья растений, где впоследствии образуются новые склероции. По крупности и количеству образовавшихся склероциев можно оценивать их вредоносное влияние на урожайность и качество зерна.

Цель исследования – охарактеризовать развитие спорыньи на растениях высокопентозанового сорта озимой ржи Эра и его низкопентозанового аналога сорта Новая Эра.

Материалы и методы исследований. Объектами исследований служили высокопентозановый сорт озимой ржи Эра и его низкопентозановый аналог сорт Новая Эра, созданные с нашим авторским участием. При создании Новой Эры были использованы «тонкопокровные» фракции зерна, отобранные из сорта Эра (Кобылянский и др., 2021). «Тонкопокровное» (стекловидно-подобное) зерно сорта Новая Эра содержит 0,5–0,7% водорастворимых пентозанов, а «толстопокровное» зерно у сорта Эра – 1,5–1,7%. Исследования показали, что по высоте растений, длине колоса, числу колосков в колосе, массе зерна с колоса, массе 1000 зерен и длине вегетационного периода сорт Новая Эра находится на уровне высокопентозанового стандарта (Аниськов и др., 2015). Различие сортов состоит только в уровне содержания водорастворимых пентозанов в зерне, который обусловлен толщиной покровов их зерновок. Частота низкопентозановых зерен (растений) в сорте Эра составляет 43, а в сорте Новая Эра – 95%.

Изучение проводили в 2019–2020 гг. Посев озимой ржи проведен на полях научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лабораторий ВИР» в сроки, рекомендованные технологией выращивания. Каждая делянка площадью 20 м² состояла из двух продольных полос по 10 м², высеванных параллельно на расстоянии 50 см друг от друга. Густота посева – 250 всхожих зерен на 1 м².

Для создания высокого уровня инфекционного фона использовали рекомендации Т.К. Шешеговой и Л.М. Шеклеиной (2019). В нашем эксперименте склероции спорыньи разных

размеров, собранные на производственных посевах озимой ржи в Ленинградской области, равномерно разбрасывали (по 200 штук на делянку) под предпосевное боронование за два дня до посева. В августе следующего года проводили оценку пораженности сортов по числу инфицированных растений в% на 1 м² посева. Перед уборкой собрали по 100 склероциев с колосьев сортов Эра и Новая Эра.

Определяли биометрические показатели склероциев – длину и толщину (диаметр). Замеры проводили при помощи штангенциркуля КАЛИБРОН ШЦ-I 0,125 0,1. Среднюю массу отдельного склероция определяли путем деления общей весовой массы рожков на их количество. Для статистической обработки экспериментальных данных использовали пакет прикладных программ Microsoft Excel 2010.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что при одинаковом уровне инфекционной нагрузки средняя пораженность болезнью растений высокопентозанового сорта Эра составляла 48,5, а низкопентозанового сорта Новая Эра 18,1%. Полученные результаты согласуются с данными других исследователей. Так, в условиях Кировской области на искусственном инфекционном фоне поражение спорыньей высокопентозанового стандартного сорта Фаленская 4 составило 40%. Низкопентозановые сорта в этих условиях были поражены на 0-25% (Шеклеина и Шешегова, 2020). В нашем эксперименте склероции, сформированные на растениях высокопентозановой ржи Эра, по своим размерам условно, разделили на две фракции: крупные (3) и средней крупности (2) (рис. 1).

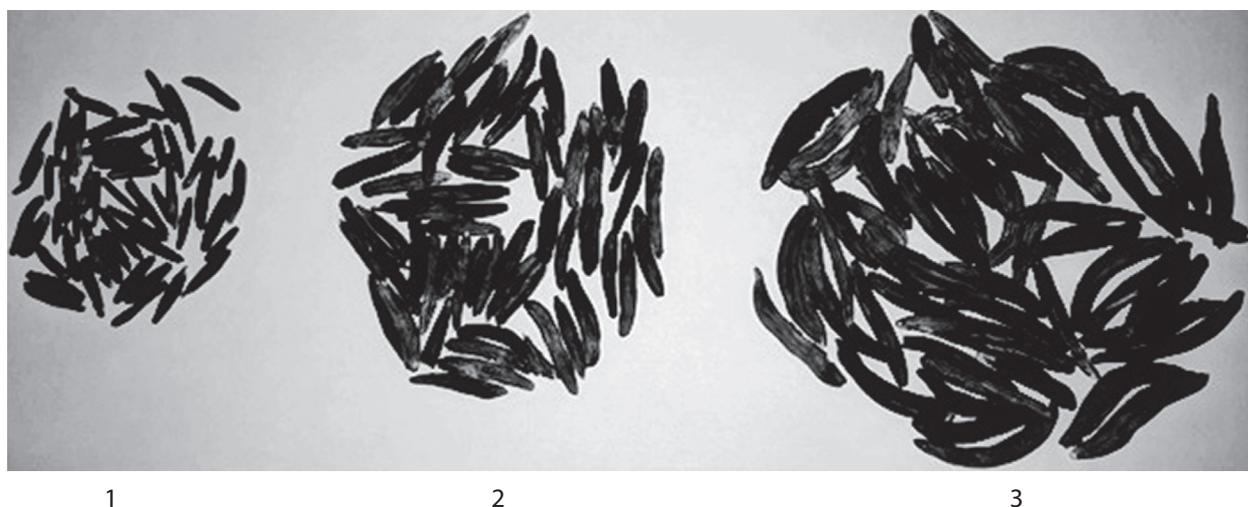


Рис. 1. Склероции гриба *Claviceps purpurea*, собранные с колосьев низкопентозанового сорта Новая Эра (1) и высокопентозановой ржи Эра (2 и 3).

Fig. 1. Sclerotia of the fungus *Claviceps purpurea*, collected from heads of the low-pentosan rye variety 'Novaya Era' (1) and the high-pentosan rye variety 'Era' (2 and 3)

Средняя длина рожков (склероциев) до 23,55 мм, а толщина – от 2,68 до 3,83 мм (см. на сорте Эра варьировала в пределах от 15,97 таблицу).

Биометрические показатели склероций возбудителя спорыньи, собранные с колосьев сортов ржи Эра и Новая Эра
Biometric indices of ergot pathogen sclerotia collected from heads of the rye varieties 'Era' and 'Novaya Era'

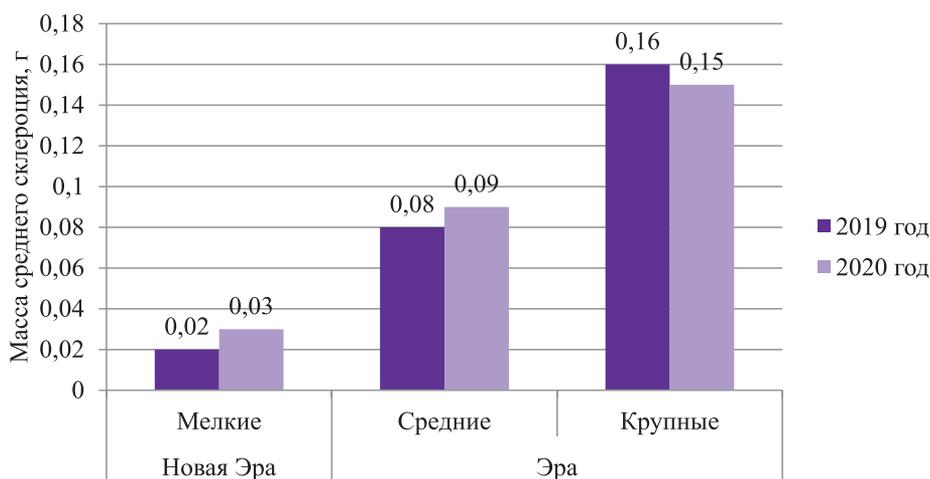
Сорт	Фракции склероциев	Показатели статистического анализа	Длина, мм		Толщина (диаметр), мм	
			годы			
			2019	2020	2019	2020
Эра	крупные	X±S (среднее ± отклонение)	23,55±3,08	21,82±3,77	3,83±0,91	3,26±1,16
		V (коэффициент вариации, %)	13	15	23	25
	средние	X±S (среднее ± отклонение)	15,97±2,36	16±2,84	2,68±0,37	3,08±0,54
		V (коэффициент вариации, %)	15	14	14	16
Новая Эра	мелкие	X±S (среднее ± отклонение)	10,43±2,91	11,37±2,93	1,77±0,36	1,93±0,52
		V (коэффициент вариации, %)	28	27	20	19

Было замечено, что рожки, принадлежащие к крупной фракции, формировались на колосьях главных стеблей высокопентозановых растений. В результате повторной

инокуляции растений склероции спорыньи появлялись позже и к концу вегетации растений имели меньшие, чем на главных колосьях размеры.

Совершенно необычное развитие патогена наблюдали при заражении ржи Новая Эра, характеризующейся низким содержанием водорастворимых пентозанов в зерне. На низкопентозановых растениях встречались только мелкие слабо развитые склероции, средний размер которых был почти в 2 раза, а масса – в 4–8 раз меньше, чем на сорте Эра (рис. 2).

Из-за своих малых размеров некоторые склероции не выходили за пределы цветковых чешуй колоса и были слабо заметными в посеве. На пораженных цветках мы обнаружили очень малое количество «медвяной росы», обеспечивающей вторичное заражение растений.



Примечание: мелкие склероции формировались на колосьях низкопентозановых растений сорта Новая Эра, содержащих 0,5–0,7% водорастворимых пентозанов в зерне; средние и крупные – на высокопентозановых растениях сорта Эра, содержащих 1,5–1,7% водорастворимых пентозанов в зерне.

Рис. 2. Масса склероций возбудителя спорыньи, сформировавшихся на растениях ржи с разным содержанием водорастворимых пентозанов в зерне

Fig. 2. The mass of ergot pathogen sclerotia formed on rye plants with different content of water-soluble pentosans in grain

При сравнении взаимоотношений между растением-хозяином и патогеном *Cl. purpurea* выявлено, что при поражении цветков высокопентозановой ржи растение-хозяин не «препятствует» развитию патогена. Кроме того было замечено, что в отдельных случаях под воздействием гриба питание пораженных цветков улучшалось, что способствовало развитию огромных рожков, в отдельных случаях достигающих в длину 5 см.

Исходя из того, что в цветок растений поступает то количество питательных веществ, которое необходимо для обеспечения потребности растущей зерновки, следует, что «толстопокровные» высокопентозановые зерновки получают больше питательных веществ, включая водорастворимые пентозаны, по сравнению с «тонкопокровными» низкопентозановыми. Развитие спорыньи на низкопентозановой ржи приводит к угнетению развития склероциев, уменьшению продуцирования «медвяной росы» и снижению образования конидиоспор, приводящих к перезаражению новых колосьев. В результате на такой ржи вырастают склероции патогена очень малых размеров и, предположительно, со сниженной жизнеспособностью или вовсе не способные формировать плодовые тела и производить аскоспоры. Все это объясняет большую величину склероциев, формирующихся на высокопентозановых

и значительно меньшую – на низкопентозановых растениях ржи.

Наблюдаемый факт образования очень малых рожков при поражении низкопентозановой ржи возбудителем *Cl. purpurea* гарантирует возможность получения урожая зерна, свободного от засорения склероциями гриба. Склероции, сформировавшиеся на такой ржи, по своим параметрам меньше отверстий стандартных решет (20мм × 2мм), используемых для очистки семян от мелких и щуплых зерен, что позволяет избавиться от присутствия мелких рожков спорыньи в массе зерна сорта.

Выводы. Установлено, что при одинаковом уровне инфекционной нагрузки *Claviceps purpurea* пораженность растений высокопентозанового сорта Эра составляет 48,5%, а его низкопентозанового аналога Новая Эра – 18,1%. На главных колосьях ржи Эра формируются полноценные склероции гриба, а на Новой Эре – слабо развитые со сниженной жизнеспособностью. Размеры склероциев на растениях Новая Эра приблизительно в 2 раза, а их масса – в 4–8 раз меньше, чем на сорте Эра. Меньшие размер и масса рожков, формирующихся на низкопентозановой ржи, обуславливают меньшую засоренность зерна спорыньей и делают возможным получение урожая, свободного от засорения склероциями гриба. На степень устойчивости ржи к болезни влияет

частота низкопентозановых растений, встречающихся в сортовой популяции. Величина этого показателя в популяции каждого сорта слабо меняется в зависимости от условий возделывания и является константным признаком, характеризующим структуру конкретной сортовой популяции ржи. Все низкопентозановые сорта на 90% и более имеют тонкопокровное (стекловидно подобное) зерно. Частота тонко-

покровных зерен в сорте Эра составляет 43, а Новая Эра – 95%. Создание сортов ржи, характеризующихся низким содержанием водорастворимых пентозанов в зерне, сопряжено с селекцией на устойчивость к спорынье.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР № 0662-2020-0006.

Библиографические ссылки

1. Аниськов Н.И., Кобылянский В.Д., Сафонова И. В. Агробиологическая характеристика первых сортов низкопентозановой озимой ржи селекции ВИР // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 1(12). С. 101–111. DOI: 10.12737/10608.
2. Кобылянский В.Д., Солодухина О.В., Лунегова И.В., Новикова С.П., Хлопюк М.С., Макаров В.И. Создание низкопентозановой ржи и возможности ее использования на корм животным // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2017. Т. 178. Вып. 1. С. 31–40.
3. Кобылянский В.Д., Солодухина О.В., Никонорова И.М. Морфологические особенности низкопентозанового зерна ржи // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182. Вып. 2. С. 123-130. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-123-130.
4. Хазиев А.З., Пономарева М.Л. Ущерб от спорыньи на озимой ржи и меры его предупреждения // Вестник Казанского ГАУ. 2007. Т. 2. № 2(6). С. 80–82.
5. Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М. Зависимость вредоносности спорыньи от биометрических показателей склероциев // Защита растений. 2017. № 11. С. 9-11.
6. Шешегова Т. Щеклеина Л. Спорынья зерновых культур. Монография. Издательство: LAP LAMDTRT Academic Publishing RU, 2019. 80 с.
7. Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М., Желифонова В.П., Антипова Т.В., Баскунов Б.П., Козловский А.Г. Устойчивость сортов ржи к спорынье и содержание эргоалкалоидов в склероциях *Claviceps purpurea* в условиях Кировской области // Микология и фитопатология. 2019. Т. 53. № 3. С. 177–182. DOI: 10.1134/S0026364819030127.
8. Щеклеина Л.М., Шешегова Т.К. Болезни *Secale cereale* L. в Кировской области и генетические источники устойчивости для селекции озимой ржи // Вестник КрасГАУ. 2020. № 6. С. 86–92. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-86-92.
9. Miedaner T., Geiger H.H. Biology, genetics and management of ergot (*Claviceps* spp) in rye, sorghum and pearl mille // Toxins. 2015. V. 7. P. 659–778. DOI: 10.3390/toxins7030659.
10. Pazoutova S., Olsovska J., Linka M., Kolinska R., Flieger M. Chemoraces and habitat specialization of *Claviceps purpurea* populations // Appl. Environ. Microbiol. 2000. V. 66. № 12. P. 5419–5425. DOI: 10.1128/AEM.66.12.5419-5425.2000.

References

1. Anis'kov N.I., Kobylyanskij V.D., Safonova I. V. Aгробиологическая характеристика первых сортов низкопентозановой озимой ржи селекции ВИР [Agrobiological characteristics of the first low-pentosan winter rye varieties developed by the] // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika. 2015. T. 3. № 1(12). S. 101–111. DOI: 10.12737/10608.
2. Kobylyanskij V.D., Soloduhina O.V., Lunegova I.V., Novikova S.P., Hlopyuk M.S., Makarov V.I. Sozdanie nizkopentozanovoj rzhi i vozmozhnosti ee ispol'zovaniya na korm zhivotnym [Development of low-pentosan rye and the possibility of its use for animal feed] // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2017. T. 178. Vyp. 1. S. 31–40.
3. Kobylyanskij V.D., Soloduhina O.V., Nikonorova I.M. Morfologicheskie osobennosti nizkopentozanovogo zerna rzhi [Morphological features of low-pentosan rye grain] // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2021. T. 182. Vyp. 2. S. 123–130. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-123-130.
4. Haziev A.Z., Ponomareva M.L. Ushcherb ot sporyn'i na ozimoy rzhi i mery ego preduprezhdeniya [Damage from ergot in winter rye and measures to prevent it] // Vestnik Kazanskogo GAU. 2007. T. 2. № 2(6). S. 80–82.
5. SHeshhegova T.K., SHCHekleina L.M. Zavisimost' vredonosnosti sporyn'i ot biometricheskikh pokazatelej sklerocijev [Dependence of ergot harmfulness on the biometric indicators of sclerotia] // Zashchita rastenij. 2017. № 11. S. 9–11.
6. SHeshhegova T. SHEkleina L. Sporyn'ya zernovyh kul'tur [Ergot on grain crops]. Monografiya. Izdatel'stvo: LAP LAMDTRT Academic Publishing RU, 2019. 80 s.
7. SHeshhegova T.K., SHCHekleina L.M., ZHelifonova V.P., Antipova T.V., Baskunov B.P., Kozlovskij A.G. Ustojchivost' sortov rzhi k sporyn'e i sodержanie ergoalkaloidov v sklerociyah *Claviceps purpurea* v usloviyah Kirovskoj oblasti [Resistance of rye varieties to ergot and ergot alkaloids content in the sclerotia *Claviceps purpurea* in the Kirov region] // Mikologiya i fitopatologiya. 2019. T. 53. № 3. S. 177–182. DOI: 10.1134/S0026364819030127.
8. SHCHekleina L.M., SHeshhegova T.K. Bolezni *Secale cereale* L. v Kirovskoj oblasti i geneticheskie istochniki ustojchivosti dlya selekcii ozimoy rzhi [Diseases *Secale cereale* L. in the Kirov region and genetic sources of resistance for winter rye breeding] // Vestnik KrasGAU. 2020. № 6. S. 86–92. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-86-92.
9. Miedaner T., Geiger H.H. Biology, genetics and management of ergot (*Claviceps* spp) in rye, sorghum and pearl mille // Toxins. 2015. V. 7. P. 659–778. DOI: 10.3390/toxins7030659.

10. Pazoutova S., Olsovska J., Linka M., Kolinska R., Flieger M. Chemoraces and habitat specialization of *Claviceps purpurea* populations // *Appl. Environ. Microbiol.* 2000. V. 66. № 12. P. 5419–5425. DOI: 10.1128/AEM.66.12.5419-5425.2000.

Поступила: 10.03.21; принята к публикации: 6.07.21.

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. Кобылянский В.Д., Солодухина О.В. – концептуализация исследования, подготовка опыта, выполнение полевых и лабораторных опытов, сбор данных и их интерпретация, подготовка рукописи к печати.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.