

Поиск иммунологически-ценных генотипов озимой ржи с использованием отдельных параметров неспецифической устойчивости

© 2021. А. М. Щеклеина ✉, Т. К. Шешегова, Е. И. Уткина
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В условиях Кировской области на естественном инфекционном фоне развития микозов (2019-2020 гг.) изучено более 100 российских сортов и коллекционных образцов озимой ржи. В годы исследований степень поражения мучнистой росой достигала 86,3 %, септориозом – 63,3 %, бурой ржавчиной – 40,5 %, стеблевой ржавчиной – 60,0 %, ринхоспориозом – 29,3 %. В течение онтогенеза растений (с фазы 31 по 85 по шкале Zadoks) проводили анализ нарастания грибной инфекции в сортовых биоценозах. При учёте болезней использовали общеизвестные методики. Характер растительно-микробных взаимодействий и параметры устойчивости оценивали по показателям ПКРБ (площадь под кривой развития болезни), ИУ (индекс устойчивости) и ЛП (латентный период). Установлена тесная зависимость между продолжительностью ЛП и степенью поражения септориозом ($r = -0,98$), бурой ржавчиной ($r = -0,95$), мучнистой росой ($r = -0,92$), стеблевой ржавчиной ($r = -0,80$), ринхоспориозом ($r = -0,67$). Уравнения регрессии носят линейный характер ($R^2 = 0,84...0,96$) и свидетельствуют о суточном нарастании болезней (от 0,52 до 0,88 %). В ходе иммунологического менеджмента выявлено около 20 сортов российской селекции, отличающихся неспецифической устойчивостью к двум и более болезням, медленным (slow rusting) нарастанием инфекции в сортовых биоценозах и продолжительным латентным периодом патогенов. Среди них сорта селекции Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (Фаленская 4, Вятка 2, Рушник, Кировская 89, Снежная, Флора, Румба), других российских научных учреждений (Алиса, Памяти Бамбышевой, П-01/14, ГП-901 и другие) и новые образцы из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийский институт генетических ресурсов имени Н. И. Вавилова (Тринодис 4 Минвак-139/09 НП, Эстет НП 42/14 и другие). Они могут быть использованы в селекции в качестве источников, а показатели ПКРБ, ИУ, ЛП – как иммунологически значимые параметры неспецифической устойчивости.

Ключевые слова: *Secale cereale* L., грибные болезни, показатель ПКРБ, индекс устойчивости, латентный период, источники устойчивости

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого (тема № 0767-2019-0095).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Щеклеина А. М., Шешегова Т. К., Уткина Е. И. Поиск иммунологически-ценных генотипов озимой ржи с использованием отдельных параметров неспецифической устойчивости. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(4):507-517. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.507-517>

Поступила: 29.03.2021

Принята к публикации: 13.07.2021

Опубликована онлайн: 26.08.2021

Search for immunologically valuable winter rye genotypes using separate parameters of non-specific resistance

© 2021. Lucia M. Shchekleina ✉, Tatiana K. Sheshegova, Elena I. Utkina
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

More than 100 Russian varieties and collection samples of winter rye were studied under the conditions of the Kirov region against the natural infectious background of the development of mycoses (2019-2020). The degree of damage by powdery mildew during the years of research reached 86.3 %, septoria – 63.3 %, brown rust – 40.5 %, stem rust – 60.0 %, rhynchosporiosis – 29.3 %. During plant ontogenesis (from phases 31 to 85 Zadoks scale), the growth of fungal infection in varietal biocenoses was analyzed. When accounting for diseases, well-known methods were used. The nature of plant-microbial interactions and the parameters of resistance were assessed by indicators of ADDC (area under the curve of disease development), IR (resistance index) and LP (latency period). A close relationship was established between the duration of LP and the degree of septoria infection ($r = -0.98$), brown rust ($r = -0.95$), powdery mildew ($r = -0.92$), stem rust ($r = -0.80$), rhynchosporiosis ($r = -0.67$). The regression equations are linear ($R^2 = 0.84 ... 0.96$) and indicate a daily increase in diseases (from 0.52 to 0.88 %). In the course of immunological management, there have been identified about 20 varieties of Russian selection distinguished by nonspecific resistance to two or more diseases, slow (slow rusting) growth of infection in varietal biocenoses and a long latent period of pathogenesis. Among them are the varieties of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (Falyonskaya 4, Vyatka 2, Rushnik, Kirovskaya 89, Snezhana, Flora, Rumba), other scientific institutions of the Russian Federation (Alisa, Pamyati Bambysheva, P-01/14, GP-901 and others) and new samples from the VIR collection (Trinodis 4 Minvak-

139/09 NP, Estet NP 42/14 and others). They can be used in breeding as sources, and indicators of ADDC, IR, LP - as immunologically significant parameters of nonspecific resistance.

Keywords: *Secale cereale* L., fungi diseases, ADDC index, resistance index, latent period, sources of resistance

Acknowledgment: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0008).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citations: Shchekleina L. M., Sheshegova T. K., Utkina E. I. Search for immunologically valuable winter rye genotypes using separate parameters of non-specific resistance. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(4):507-517. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.507-517>

Received: 29.03.2021

Accepted for publication: 13.07.2021

Published online: 26.08.2021

Озимая рожь (*Secale cereale* L.) заслужила репутацию наиболее приспособленной к климатическим условиям страховой культуры низкого экономического риска [1, 2, 3]. Поскольку в основе селекции лежит обновление генетического материала за счёт вовлечения новых форм, то для создания конкурентоспособных сортов ржи необходимо располагать генетически разнообразными и комплексно изученными источниками признаков [4, 5]. В этой связи использование в селекции «древних», эволюционно непреодоленных генов делает возможным создание сортов, длительно сохраняющих резистентность к болезням [6]. Длительная защита от эпифитотийно-опасных болезней позволит повысить стабильность производства зерна в конкретной агроэкологической зоне, а также улучшить его качество и санитарно-эпидемиологическую ситуацию в агроландшафтах. Однако до настоящего времени в РФ отсутствуют сорта озимой ржи с устойчивостью на уровне экономически значимого порога.

На территории Кировской области в посевах озимой ржи практически ежегодно диагностируются снежная плесень (*Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & I. C. Hallett), корневые гнили (*Fusarium* Link.: *F. culmorum* (W.G.Sm.) Sacc, *F. sporotrichioides* Sherb. и др.), мучнистая роса (*Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *secalis* Marchal.), септориоз (*Septoria nodorum* (Berk.) Berk), ринхоспориоз (*Rhynchosporium secalis* (Oudem) Davis.), бурая ржавчина (*Puccinia recondita* Roberge ex Desm.), стеблевая ржавчина (*Puccinia graminis* Pers. f.sp. *secalis* (Erikss.et Henn.)) и спорынья (*Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.). Периодически та или иная болезнь достигают эпифитотийного уровня развития [7]. Раннее микозное проявление заболеваний повышает инфекционный фон патогенов в полевых биоценозах, приводит к снижению ассимиляционной поверхности, что негатив-

но влияет на фотосинтез, продуктивность растений и качество зерна. Оно приобретает ядовитые свойства из-за накопления токсинов, многие из которых не теряют своих свойств при термической обработке: выпечке хлеба, варке пищи и т. д. Поэтому употребление такого зерна и продуктов его переработки может стать причиной тяжело протекающих заболеваний людей (алиментарно-токсическая алейкия, расстройства функции желудочно-кишечного тракта и др.) [8, 9, 10]. Главной особенностью грибов рода *Fusarium* и *Claviceps purpurea* заключается в их способности накапливать продукты жизнедеятельности – микотоксины, которые образуются, когда грибы заражают зерновые культуры в поле, в собранном урожае, при хранении и переработке зерна.

Селекция озимой ржи на устойчивость к грибным инфекциям интегрирована в программы исследований селекционных учреждений страны. Разработана методология создания фузариозоустойчивых сортов [11], а также длительно сохраняющих признак, включающая три возможных направления: создание популяций с моногенной (полигенной) устойчивостью к одной или нескольким болезням и создание популяций, сочетающих различные типы устойчивости [12]. В настоящее время в фитоиммунологии наряду с экспериментальными методами используются вычислительные эксперименты. Они позволяют рассматривать взаимодействие «патоген-растение» как комплексный процесс, зависящий от большого количества факторов: устойчивости генотипа и скорости проникновения патогена в его ткани, длительности латентного периода патогенеза и успешного спороношения с повторным заражением вегетирующих растений, погодных условий (температура, влажность) и др. При этом теснота связи между заболеванием и урожайностью обусловлена проявлением всех этих факторов в определённые периоды онтогенеза [13].

В России и мире остаются актуальными исследования по поиску генотипов с длительной устойчивостью и/или медленным нарастанием (slow rusting) инфекции в биоценозе. Мониторинг болезни в динамике развития растений позволяет прогнозировать её вредоносность и возможные эпифитотии, а также выявлять сорта, восприимчивые в начале онтогенеза [14, 15]. Для этого можно использовать значимые параметры количественной устойчивости (площадь под кривой развития болезни – ПКРБ, индекс устойчивости – ИУ, продолжительность латентного периода – ЛП), которые в полевых условиях определяются в ходе анализа растительно-микробных взаимодействий.

В настоящей работе мы впервые протестировали около 100 новых сортов озимой ржи в динамике нарастания грибных болезней. Это позволило предложить для селекции генисточники комплексной устойчивости, а также образцы с медленным развитием микозов в биоценозах сортов. Впервые установлена тесная зависимость между продолжительностью латентного периода и развитием мучнистой росы, септориоза, ринхоспориоза, бурой и стеблевой ржавчины, что обосновывает возможность использования этого механизма при поиске устойчивых к этим болезням генотипов.

Цель исследований – выявление источников комплексной неспецифической устойчивости среди отечественных сортов и коллекционных образцов озимой ржи в условиях Кировской области.

Материал и методы. Работа выполнена в Федеральном аграрном научном центре Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (ФАНЦ Северо-Востока) в 2019-2020 гг. Материал исследований был представлен 25 сортами селекции ФАНЦ Северо-Востока, 30 из других НИУ РФ и 48 образцами из мировой коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийский институт генетических ресурсов имени Н. И. Вавилова (ВИР), являющегося базисом исходного материала для селекции [1]. Данный генофонд был высеян в двух питомниках отдела озимой ржи: коллекционном и экологического испытания на делянках площадью 1,0 и 5,0 м² в 2-4-кратной повторности. Полевые опыты закладывали согласно

методике ГСИ¹. При проведении диагностики и учётов развития болезней использовали общеизвестные методики². Динамику развития болезней оценивали в четыре-пять сроков – с весеннего кущения до начала восковой спелости (фазы 31-85 по шкале Zadoks). Для этого, начиная с первых симптомов поражения, и через каждые 10-14 дней проводили учёты болезней и оценивали устойчивость изучаемых сортов в разные периоды онтогенеза.

При изучении характера растительно-микробных взаимодействий *Secale cereale* L. с фитопатогенами: *Blumeria graminis*, *Septoria nodorum*, *Rhynchosporium secalis*, *Puccinia recon-dita* и *Puccinia graminis* оценена скорость нарастания грибной инфекции у изучаемых образцов с использованием показателя ПКРБ (площадь под кривой развития болезни), впервые разработанного D. F. Johnson и R. D. Wilcoxson [16]. В русской редакции она описана у Ю. Б. Коновалова [17]:

$$S = \frac{1}{2} (X_1 + X_2) \times (t_2 - t_1) + \dots + (X_{n-1} + X_n) \times (t_n + t_{n-1}),$$

где S – площадь под кривой развития болезни; n – количество учётов; X₁ – степень развития болезни на момент первого учёта, %; X₂ – степень развития болезни на момент второго учёта, %; (t₂ - t₁) – количество дней между вторым и первым учётом; X_{n-1} – интенсивность развития болезни между последним и предпоследним учётом, %; X_n – степень развития болезни на момент последнего учёта, %; (t_n + t_{n-1}) – количество дней между последним и предпоследним учётом.

Чем выше значение ПКРБ, тем интенсивнее идет нарастание болезни в биоценозе, и тем более восприимчив сорт. В связи с тем, что абсолютные значения ПКРБ варьируют по годам в зависимости от внешних условий и инфекционной нагрузки, дополнительным критерием являлся индекс устойчивости (ИУ). Показатель ИУ позволяет проводить не только сравнение данных полевых оценок, но и классифицировать сорта по уровню частичной устойчивости, или slow rusting. Расчёт ИУ предложен сотрудниками Всероссийского НИИ фитопатологии³:

ИУ = ПКРБ изучаемого сорта /
ПКРБ индикаторного (восприимчивого) сорта.

¹Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1985. Вып. 2. Ч. 2. 230 с.

²Гешеле Э. Э. Основы фитопатологической оценки в селекции растений. М.: Колос, 1978. 206 с.; Кобылянский В. Д., Королёва Л. А. Методические указания по селекции озимой ржи на устойчивость к грибным болезням. Л., 1977. 26 с.; Шешегова Т. К., Кедрова Л. И. Методические рекомендации по созданию искусственных инфекционных фонов и оценке озимой ржи на устойчивость к болезням. Киров, 2003. 30 с.

³Макаров А. А., Стрижекозин Ю. А., Соломатин Д. А. Количественная классификация сортов пшеницы по степени раснеспецифической устойчивости к бурой ржавчине. Иммуитет сельскохозяйственных культур к возбудителям грибных болезней. М., 1991. С. 105-110.

По ИУ сорта можно условно дифференцировать на 4 группы: 0,10-0,35 – высокий уровень устойчивости; 0,36-0,65 – средний; 0,66-0,80 – низкий; более 0,81 – восприимчивость.

В изученном материале в качестве индикатора к мучнистой росе (степень поражения 86,3 %), септориозу (63,3 %) и бурой ржавчине (40,5 %) принят образец № 3 из Китая, к ринхоспориозу (29,3 %) – сорт Крона из Московской области и к стеблевой ржавчине (60,0 %) – сорт Чулыш из Ленинградской области.

Длительность латентного периода, который оказывает влияние на уровень инфекционной нагрузки в биоценозах и развитие болезни, оценивали по числу дней от начала тестирования до первых симптомов у испытуемого сорта⁴.

Окончательную иммунологическую характеристику образцам давали по уровню развития болезней: иммунитет – отсутствие поражения листьев и стеблей; высокая устойчивость – до 10 %; устойчивость – до 25 %; средняя устойчивость – до 45 %; восприимчивость – до 65 %; высокая восприимчивость – более 65 %.

Результаты и их обсуждение. На основании многократных учётов развития болезней проанализирован характер взаимодействия сортифта озимой ржи с опасными фитопатогенами и выявлены источники, обладающие более длительным латентным периодом патогенезов и свойством slow rusting, а также комплексной устойчивостью к грибным патоккомплексам.

Взаимодействие в патосистеме Secale cereale – Blumeria graminis. Мучнистая роса не приводит к гибели посевов, однако при сильном её развитии уменьшается ассимиляционная поверхность листьев, разрушаются хлорофилл и другие пигменты, вследствие чего продуктивность растений снижается. В условиях Кировской области проявление мучнистой росы на посевах озимой ржи отмечается с частотой 4-5 раз в 10 лет при уровне вредности 10-15 % [18]. Первые симптомы болезни на листьях проявились в период колошения (фазы 51-59 по шкале Zadoks), а у 8 сортов (Снежана, Графиня, Румба, Крона, Паром, Алиса, Янтарная и Памяти Кунакбаева) они отсутствовали, что косвенным образом

свидетельствует о более длительном латентном периоде патогенеза. В фазе цветения преобладали сорта с высокой устойчивостью, но к началу молочной спелости их количество снизилось до 9: Вятка 2, Кировская 89, Фалёнская 4, Снежана, Флора, Рушник, Графиня, Румба и Парча. Интенсивное нарастание налёта *Blumeria graminis* происходило в период от молочной (фаза 75) до восковой спелости (фаза 85). Все изученные сорта в этих условиях по ИУ проявляли восприимчивость к мучнистосоросной инфекции, за исключением сорта Кировская 89, степень поражения которого составила 20,2 %, ИУ – 0,28. Он относится к числу первых в стране генотипов с неспецифической устойчивостью к мучнистой росе и бурой ржавчине [18], и признак сохраняется с периода районирования (1993 г.) до настоящего времени. Можно выделить также сорта Вятка 2, Фалёнская 4 и Румба с относительно меньшим развитием болезни (до 30,0 %) (рис. 1а). Как и новый образец из Беларуси П-01/14, они характеризуются относительно медленным нарастанием мучнистосоросной инфекции.

В коллекционном генофонде длительным латентным периодом мучнистой росы отличались два образца (Харьковская 60-2 и И 24/88), у которых отсутствовали симптомы болезни до колошения. В фазу цветения иммунных образцов не выявлено, но преобладали высокоустойчивые. К началу молочной спелости инфекционная нагрузка *Blumeria graminis* усилилась, о чем свидетельствует сильное развитие болезни (86,3 %) у индикатора из Китая. На этом фоне большинство образцов были восприимчивы к мучнистосоросной инфекции. К среднеустойчивым можно отнести 15: И 24/88, МосВИР-12 244/16 НП, Вавиловская НП, Подарок НП, Тринодис 4 Минвак-139/09 НП, Ника 3 НП, Донская НП, Поп. Енрушсиб НП 77-8/14, Эстет НП 42/14, Амило 2-58/14 НП, Снежана 4 – шт. 15/14 НП, Шталь 89/14 НП, НВАК-285/15 НП, Вавиловская универсальная НП и Шнурик ВИР НП. Однако только два из них (Тринодис 4 Минвак-139/09 НП и Эстет НП 42/14) отличались двумя параметрами неспецифической устойчивости: относительно низким поражением и свойством slow rusting.

⁴Санин С. С. Методические рекомендации по методам оценки и отбора исходного материала при создании сортов пшеницы, устойчивых к бурой ржавчине. М., 2012. 94 с.

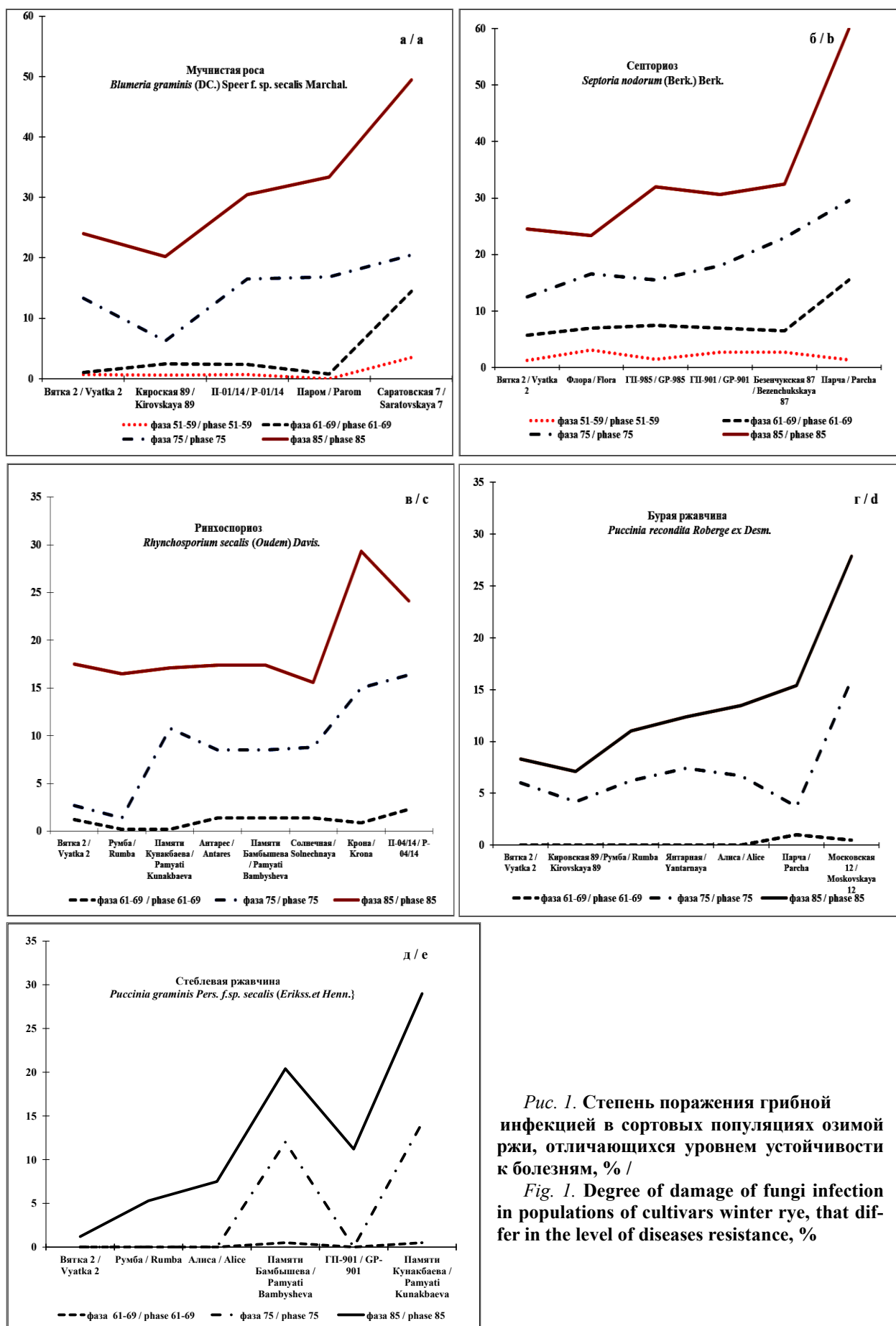


Рис. 1. Степень поражения грибной инфекцией в сортовых популяциях озимой ржи, отличающихся уровнем устойчивости к болезням, % /

Fig. 1. Degree of damage of fungi infection in populations of cultivars winter rye, that differ in the level of diseases resistance, %

Взаимодействие в патосистемах: Secale cereal – Septoria nodorum и Secale cereale – Rhynchosporium secalis. Частота проявления септориоза и ринхоспориоза на производственных посевах ржи в Кировской области составляет 3-4 раза в 10 лет при средней вредоносности 10-15 % [18]. В наших исследованиях развитие септориоза от 1,2 до 8,8 % диагностировали в фазы 51-59 (рис. 16). К началу цветения высокая устойчивость сохранялась у 30 сортов, к молочной спелости – у 6: Вятка 2, Кировская 89, Снежана, Рушник, Графиня и Чулпан 7. Однако к восковой спелости высокоустойчивых форм уже не выявлено, а число сортов, сочетающих устойчивость с признаком slow rusting, сократилось до двух – Вятка 2 и Флора. Медленное нарастание инфекции выявлено у сортов: Солнечная, Безенчукская 87, ГП-901 и ГП-905.

В коллекционном генофонде выявлено 7 устойчивых к септориозу образцов: Беняконская 2, Комбайниния 2, Новая Эра НП, Янтарная НП, МосВИР-12 244/16 НП, Подарок НП и Тринодис 4 Минвак-139/09 НП. Кроме того, последние три образца характеризуются медленным нарастанием септориозной инфекции, а образцы Подарок НП и Тринодис 4 Минвак-139/09 НП слабо поражаются спорыньей при искусственной инокуляции цветков *Sphacelia segetum* Levi [5].

Изучаемые сорта характеризовались иммунитетом и высокой устойчивостью к ринхоспориозу до цветения (рис. 1в). К молочной спелости большинство из них перешли в группу среднеустойчивых. Среди них наименее поражаемые (до 20,0 %) и характеризующиеся признаком slow rusting: Вятка 2, Рушник, Графиня, Румба, Алиса, Памяти Кунакбаева, Чулпан 7, Солнечная, Памяти Бамбышева, Антарес, П-01/14, П-05/13, Грань и ПГ-901. Среди них новый сорт Румба в настоящее время успешно проходит государственное испытание.

Взаимодействие: Secale cereal – Puccinia recondita и Secale cereale – Puccinia graminis. Частота проявления бурой ржавчины на производственных посевах ржи в Кировской области составляет 5-7 раз в 10 лет при средней вредоносности 10-15 %, стеблевой ржавчины – 3-4 раза в 10 лет и вредоносности 20-50 % [19].

Первые пустулы *Puccinia recondita* на листьях ржи отмечали в фазу молочной спелости на 3 сортах: Таловская 41, Марусенька и Антарес. Нарастание ржавчинной инфекции происходило между молочной и восковой спелостью (рис. 1г). Устойчивостью к бурой ржавчине и наличием признака slow rusting отличались 7 сортов: Кировская 89, Фалёнская 4, Снежана, Флора, Румба, Алиса и Памяти Бамбышева.

В изученной коллекции ВИР слабо поражались бурой ржавчиной 9 образцов: Вавиловская НП, Новая Эра НП, Янтарная НП, Красноярская универсальная НП, Поп. Енрушсиб НП 77-8/14, НВАК-285/15 НП, Эстет НП 42/14, МосВИР-12 244/16 НП и Тринодис 4 Минвак-139/09 НП. Нарастание ржавчинной инфекции в сортовых популяциях последних трех образцов имело замедленный характер.

Следует отметить, что в последние годы усиливается интерес к низкопентозановым (НП) сортам, поскольку они широко востребованы в кормовой и комбикормовой промышленности. В 2016-2018 гг. в Государственный реестр селекционных достижений включены новые сорта такой ржи, созданные в НИУ РФ на основе источников НП: Вавиловская, Берегиня, Подарок, Янтарная и Красноярская универсальная [1].

Единичные пустулы *Puccinia graminis* выявлены в фазу цветения, а у 20 сортов признаки стеблевой ржавчины отсутствовали до восковой спелости (рис. 1д). Наименьшее развитие болезни и медленное её нарастание обнаружено у коллекционного образца Шталь 89/14 НП и 13 сортов: Кировская 89, Снежана, Фалёнская 4, Румба, Крона, Паром, Алиса, Янтарная, Таловская 41, Таловская 33, П 04/14, ГП-901 и ГП-985.

Таким образом, среди изученного генофонда озимой ржи устойчивость к двум и более болезням проявили сорта, представленные в таблице, которые могут быть использованы в селекционных программах по повышению болезнеустойчивости.

Известно, что важным фактором активного иммунитета является длительность латентного периода, который оказывает влияние на уровень инфекционной нагрузки в биоценозах. В наших исследованиях наиболее длительным ЛП (9-12 суток) мучнистой росы характеризовались сорта: Кировская 89, Румба, Фалёнская 4, Парча, П-04/14, Паром и Графиня; септориоза (11-14 суток) – Вятка 2, Румба, Флора, Чулпан 7 и ПГ-901; ринхоспориоза (14 суток) – Румба; бурой ржавчины (12-14 суток) – Румба, Кировская 89, Снежана, Алиса; стеблевой ржавчины (14 суток) – Румба, Вятка 2 и Снежана (рис. 2).

Таблица – Источники комплексной устойчивости к грибным болезням /
Table – Sources of complex resistance to fungal diseases

Мучнистая роса / Powdery mildew	Септориоз / Septoriosis	Ринхоспориоз / Rhynchosporium	Бурая ржавчина / Brown rust	Стеблевая ржавчина / Stem rust
Кировская 89, Вятка 2, Румба, Фалёнская 4, П-01/14, Тринодис 4 Минвак-139/09 НП, Эстет НП 42/14 / Kirovskaya 89, Vyatka 2, Rumba, Falenskaya 4, P-01/14, Trinodis 4 Minvak-139/09 NP, Estet NP 42/14	Вятка 2, Флора, Тринодис 4 Минвак-139/09 НП, МосВИР-12 244/16 НП / Vyatka 2, Flora, Trinodis 4 Minvak-139/09 NP, MosVIR-12 244/16 NP	Вятка 2, Рушник, Графиня, Румба, Алиса, Памяти Кунакбаева, Чулпан 7, Солнечная, Памяти Бамбышева, Антарес, П-01/14, П-05/13, ГП-901 / Vyatka 2, Rushnik, Grafinya, Rumba, Alice, Pamiaty Kunakbaeva, Chulpan 7, Solnechnaya, Pamiaty Bambysheva, Antares, P-01/14, P-05/13, GP-901	Кировская 89, Фалёнская 4, Снежана, Флора, Румба, Алиса, Памяти Бамбышева, МосВИР-12 244/16 НП, Эстет НП 42/14 Тринодис 4 Минвак-139/09 НП / Kirovskaya 89, Falenskaya 4, Snezhana, Flora, Rumba, Alice, Pamiaty Bambysheva, MosVIR-12 244/16 NP, Estet NP 42/14, Trinodis 4 Minvak-139/09 NP	Кировская 89, Снежана Фалёнская 4, Румба, Крона Паром, Алиса, Янтарная, Таловская 41, Таловская 33, П 04/14, ГП-901, ГП-985, Шталь 89/14 НП / Kirovskaya 89, Snezhana, Falenskaya 4, Rumba, Kрона, Parom, Alice, Yantarnaya, Talovskaya 41, Talovskaya 33, P 04/14, GP-901, GP-985, Shtal' 89/14 NP
Степень поражения устойчивых сортов, % / The degree of damage to resistant varieties, %				
20,2...40,0	10,0...30,0	10,0...15,0	15,0...20,0	10,0...20,0
Показатель ПКРБ / ADDC index				
235..690	259..579	103...188	104...239	8...98
Значение ИУ / RI index				
0,14...0,35	0,17...0,53	0,32...0,42	0,16...0,44	0,02...0,25
Уровень проявления степени поражения у индикаторных сортов, % / Level of manifestation of the degree of damage in cultivars-indicators, %				
86,3	63,3	29,3	40,5	60,0
Показатель ПКРБ / ADDC index				
2054	1519	365	637	660

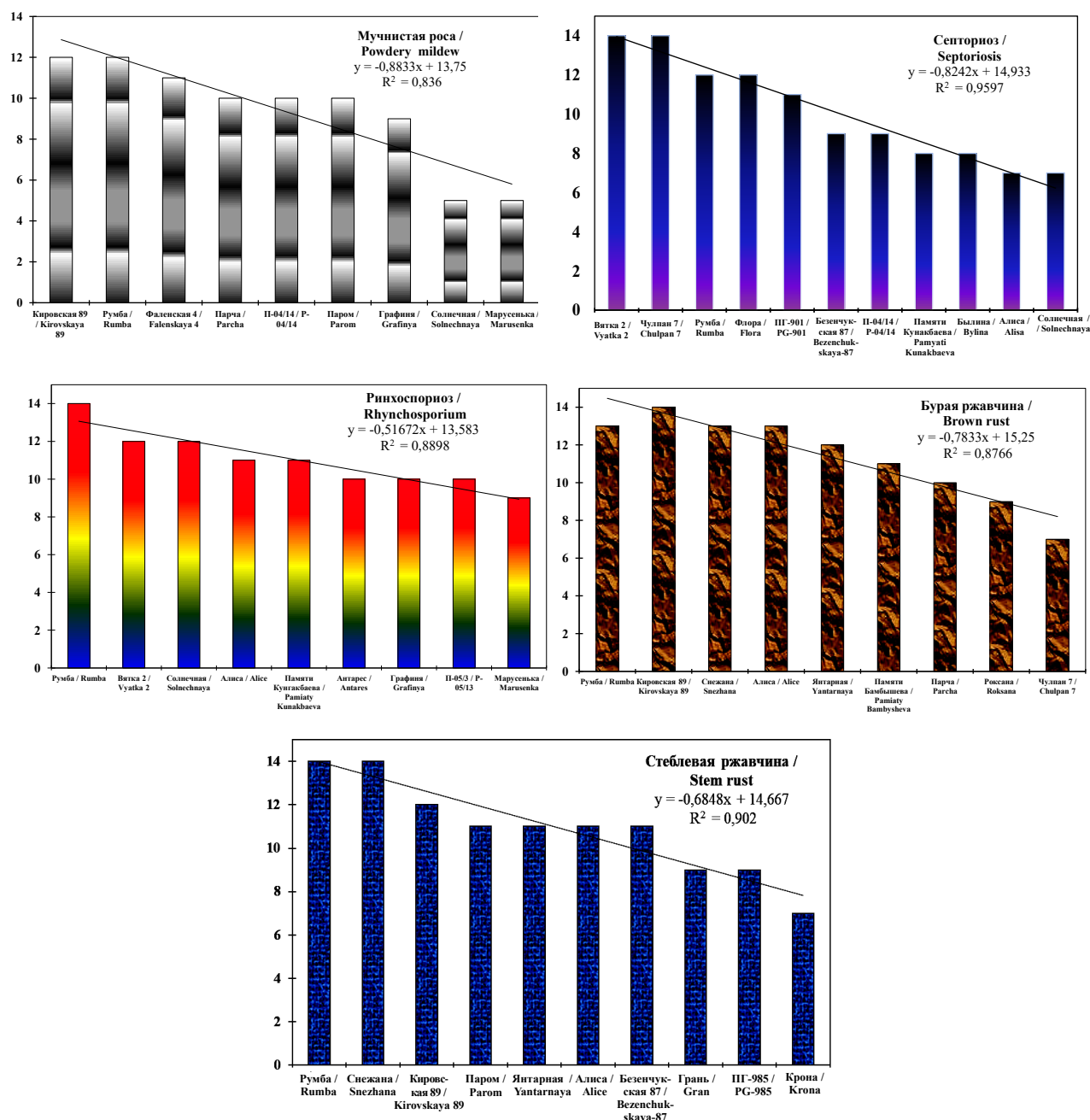


Рис. 2. Характеристика некоторых сортов озимой ржи по длительности латентного периода, сутки /
Fig. 2. Characteristics of some winter rye cultivars by duration of latent period, days

Таким образом, устойчивость у этих сортов может быть детерминирована, в том числе и более продолжительным латентным периодом, а соединение в одном генотипе нескольких параметров неспецифической устойчивости обеспечивает его более надежную защиту.

В наших исследованиях между продолжительностью ЛП и степенью поражения листостебельными болезнями установлена достоверная (при $P \geq 0,99$ и $0,95$) зависимость, которая составила $r = -0,98$ (септориоз), $r = -0,95$ (бурая ржавчина), $r = -0,92$ (мучнистая роса), $r = -0,80$ (стеблевая ржавчина) и $r = -0,67$ (рин-

хоспориоз). Высокая корреляционная связь между развитием бурой ржавчины и латентным периодом отмечается и зарубежными исследователями [20].

Для прогнозирования временных рядов на рисунке 2 представлена простая скользящая средняя (SMA – Simple Moving Average), которая сглаживает динамический ряд значений и позволяет проследить тенденцию изменения латентного периода в разных патоккомплексах. Уравнения регрессии носят линейный характер и свидетельствуют о суточном нарастании болезней по тренду: 0,88 % (мучнистая роса),

0,82 % (септориоз), 0,52 % (ринхоспориоз), 0,78 % (бурая ржавчина) и 0,68 % (стеблевая ржавчина).

Заключение. Выявленные в изученном генофонде около 20 сортов озимой ржи, характеризующиеся медленным нарастанием грибных болезней в онтогенезе и устойчивостью к двум и более грибным болезням, представляют практический интерес для селекции. Среди них сорта селекции ФАНЦ Северо-Востока (Фалёнская 4, Вятка 2, Рушник,

Кировская 89, Снежана, Флора, Румба), других НИУ РФ (Алиса, Памяти Бамбышева, П-01/14, ГП-901 и другие) и новые образцы из коллекции ВИР (Триодис 4 Минвак-139/09 НП, Эстет НП 42/14 и другие). Тесная зависимость между продолжительностью латентного периода и развитием грибных болезней обосновывает возможность использования этого механизма устойчивости при поиске иммунологически-ценных генотипов.

Список литературы

1. Сафонова И. В., Аниськов Н. И., Кобылянский В. Д. База данных генетических ресурсов коллекции озимой ржи ВИР как средство классификации генетического разнообразия, анализа истории коллекции и эффективного изучения и сохранения. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019;23(6):780-786. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.552>
2. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Маннапова Г. С., Илалова Л. В. Фитосанитарный мониторинг наиболее вредоносных болезней озимой ржи в республике Татарстан. Вестник КрасГАУ. 2019;(9):27-34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41172898>
3. Сысуев В. А., Кедрова Л. И., Уткина Е. И. Значение озимой ржи для сохранения природного агро-экологического баланса и здоровья человека (обзор). Теоретическая и прикладная экология. 2020;(1):14-20. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-1-014-020>
4. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Маннапова Г. С. Исходный материал для селекции озимой ржи (SECALE CEREALE L.). Вестник КрасГАУ. 2018;(3):19-24. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35199892>
5. Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К. Болезни *Secale cereale* L. в Кировской области и генетические источники устойчивости для селекции. Вестник КрасГАУ. 2020;(6):86-92. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-6-86-92>
6. Кобылянский В. Д., Солодухина О. В. Использование доноров ценных признаков растений в селекции новых сортов озимой ржи. Достижения науки и техники АПК. 2015;29(7):7-12. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23881201>
7. Щеклеина Л. М. Мониторинг болезней озимой ржи в Кировской области и возможные направления селекции на иммунитет. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(2):124-132. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.124-132>
8. Гагкаева Т. Ю., Дмитриев А. П., Павлюшин В. А. Микробиота зерна – показатель его качества и безопасности. Защита и карантин растений. 2012;(9):14-18. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17879814>
9. Левитин М. М. Фитопатогенные грибы и болезни человека. Защита и карантин растений. 2009;(9):24-25. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12975952>
10. Труфанов О., Лохов В., Родригес И. Алкалоиды спорыньи: современное состояние проблемы и методы профилактики отравлений. Эксклюзивные технологии. 2009;(6):50-55. Режим доступа: http://www.ergotism.info/ru/2009_trufanov_ergot_alkaloids.pdf
11. Шешегова Т. К. Проблемы и приоритеты научных исследований в области агроэкологии и растениеводства на Евро Северо-Востоке. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2006;(8):13-15. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12881609>
12. Солодухина О. В., Кобылянский В. Д. Принципы стратегии селекции сортов озимой ржи на долговременную устойчивость к грибным болезням. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2011;168:79-89.
13. Николаев С. В., Зубаирова У. С., Сколотнева Е. С., Орлова Е. А., Афонников Д. А. Системный подход к моделированию развития листостебельных грибных инфекций пшеницы. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019;23(1):100-109. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.468>
14. Коломиец Т. М., Коваленко Е. Д., Панкратова Л. Ф., Скatenок О. О., Bockelman Н. Изучение параметров частичной устойчивости у сортов пшеницы к возбудителям *Stagonospora nodorum* и *Septoria tritici*. Иммунологическая защита сельскохозяйственных культур от болезней: теория и практика: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 125-летию со дня рождения Н. И. Вавилова. Большие Вязьмы Московской области: Всероссийский НИИ фитопатологии, 2012. С. 257-261.
15. Шешегова Т. К., Щенникова И. Н. Источники устойчивости ячменя к гельминтоспориозным болезням и их использование в ФАНЦ Северо-Востока. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2020;(2):76-83. DOI: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-55-2-76-83>

16. Johnson D. F., Wilcoxson R. D. A table of areas under disease progress curves. Technical Bulletin, Texas Agriculture Experiment Station. Texas. 1981;1377:2-10.
17. Коновалов Ю. Б. Селекция растений на устойчивость к болезням и вредителям. М.: Колос, 1999. 135 с.
18. Кедрова Л. И. Озимая рожь в Северо-Восточном регионе России. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. 158 с.
19. Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К. Агроэкологические аспекты развития *Puccinia dispersa* Eriks. и *Puccinia graminis* Pers. на посевах озимой ржи в Кировской области. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019;14(1(52)):65-70. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5ccedbb2724b13.28786713
20. Huerta-Espino J., Singh R., Crespo-Herrera L. A., Villaseñor-Mir H. E., Rodriguez-Garcia M. F., Dreisigacker S., Barcenas-Santana D., Lagudah E. Adult Plant Slow Rusting Genes Confer High Levels of Resistance to Rusts in Bread Wheat Cultivars From Mexico. Front Plant Sci. 2020;11:824. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00824>

References

1. Safonova I. V., Anis'kov N. I., Kobylyanskiy V. D. Baza dannykh geneticheskikh resursov kollektsii ozimoy rzhi VIR kak sredstvo klassifikatsii geneticheskogo raznoobraziya, analiza istorii kollektsii i effektivnogo izucheniya i sokhraneniya. [The database of genetic resources in the VIR winter rye collection as a means of classification of genetic diversity, analysis of the collection history and effective study and preservation]. Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019;23(6):780-786. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.552>
2. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Mannapova G. S., Ilalova L. V. Fitosanitarnyy monitoring naibolee vredonosnykh bolezney ozimoy rzhi v respublike Tatarstan. [Phytosanitary monitoring of the most harmful winter rye diseases in the republic of Tatarstan]. Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU. 2019;(9):27-34. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41172898>
3. Sysuev V. A., Kedrova L. I., Utkina E. I. Znachenie ozimoy rzhi dlya sokhraneniya prirodnogo agroekologicheskogo balansa i zdorov'ya cheloveka (obzor). [Importance of winter rye for maintaining natural agroecological balance and human health (review)]. Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology. 2020;(1):14-20. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-1-014-020>
4. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Mannapova G. S. Iskhodnyy material dlya selektsii ozimoy rzhi (SECALE CEREALE L.). [Initial material for winter rye (SECALE CEREALE L.) selection]. Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU. 2018;(3):19-24. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35199892>
5. Shchekleina L. M., Sheshегоva T. K. Bolezni Secale cereale L. v Kirovskoy oblasti i geneticheskie istochniki ustoychivosti dlya selektsii. [The diseases Secale cereale L. in Kirov region and genetic sources of sustainability for winter rye selection]. Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU. 2020;(6):86-92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-6-86-92>
6. Kobylyanskiy V. D., Solodukhina O. V. Ispol'zovanie donorov tsennykh priznakov rasteniy v selektsii novykh sortov ozimoy rzhi. [Use of donors of valuable traits of plants in breeding of new varieties of winter rye]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis. 2015;29(7):7-12. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23881201>
7. Shchekleina L. M. Monitoring bolezney ozimoy rzhi v Kirovskoy oblasti i vozmozhnye napravleniya selektsii na immunitet. [Monitoring of winter rye diseases in Kirov region and possible trends of breeding for immunity]. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):124-132. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.124-132>
8. Gagkaeva T. Yu., Dmitriev A. P., Pavlyushin V. A. Mikrobiota zerna – pokazatel' ego kachestva i bezopasnosti. [Grain microbiota - index of its quality and safety]. Zashchita i karantin rasteniy. 2012;(9):14-18. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17879814>
9. Levitin M. M. Fitopatogennye griby i bolezni cheloveka. [Phytopathogenic fungi and human diseases]. Zashchita i karantin rasteniy. 2009;(9):24-25. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12975952>
10. Trufanov O., Lokhov V., Rodrigues I. Alkaloidy sporyn'i: sovremennoe sostoyanie problemy i metody profilaktiki otravleniy. [Ergot alkaloids: the current state of the problem and methods of preventing poisoning]. Eksklyuzivnye tekhnologii. 2009;(6):50-55. (In Ukraine). URL: http://www.ergotism.info/ru/2009_trufanov_ergot_alkaloids.pdf
11. Sheshегоva T. K. Problemy i priority nauchnykh issledovaniy v oblasti agroekologii i rastenievodstva na Evro Severo-Vostoke. [Problems and priorities of scientific investigations in the field of agro-ecology and plant industry in Euro-North-East]. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East. 2006;(8):13-15. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12881609>
12. Solodukhina O. V., Kobylyanskiy V. D. Printsipy strategii selektsii sortov ozimoy rzhi na dolgovremennuyu ustoychivost' k gribnym boleznyam. [Principles of the strategy of rye variety breeding for durable resistance to fungus diseases]. Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2011;168:79-89. (In Russ.).

13. Nikolaev S. V., Zubairova U. S., Skolotneva E. S., Orlova E. A., Afonnikov D. A. *Sistemnyy podkhod k modelirovaniyu razvitiya listostebel'nykh gribnykh infektsiy pshenitsy*. [A system approach to the modeling of fungal infections of the wheat leaf]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019;23(1):100-109. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.468>
14. Kolomiets T. M., Kovalenko E. D., Pankratova L. F., Skatenok O. O., Bockelman H. *Izuchenie parametrov chastichnoy ustoychivosti u sortov pshenitsy k vozbuditelyam Stagonospora nodorum i Septoria tritici*. [The study of parameters of partial resistance of wheat cultivars to *Stagonospora nodorum* Berk. and *Septoria tritici*]. *Immunologicheskaya zashchita sel'skokhozyaystvennykh kul'tur ot bolezney: teoriya i praktika: mat-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 125-letiyu so dnya rozhdeniya N. I. Vavilova*. [Immunological protection of crops from diseases: theory and practice. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 125th anniversary of the birth of N. I. Vavilov]. *Bol'shie Vyaz'my Moskovskoy oblasti: Vserossiyskiy NII fitopatologii*, 2012. pp. 257-261.
15. Sheshhegova T. K., Shchennikova I. N. *Istochniki ustoychivosti yachmenya k gel'mintosporiozным болезням i ikh ispol'zovanie v FANTs Severo-Vostoka*. [Sources of barley resistance to helminthosporiotic diseases and their use in the North-East FARC]. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*=*Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2020;(2):76-83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-55-2-76-83>
16. Johnson D. F., Wilcoxson R. D. A table of areas under disease progress curves. Technical Bulletin, Texas Agriculture Experiment Station. Texas. 1981;1377:2-10.
17. Konovalov Yu. B. *Selektsiya rasteniy na ustoychivost' k boleznyam i vreditelyam*. [Plant breeding for resistance to diseases and pests]. Moscow: *Kolos*, 1999. 135 p.
18. Kedrova L. I. *Ozimaya rozh' v Severo-Vostochnom regione Rossii*. [Winter rye in the North-East region of Russia]. Kirov: *NIISKh Severo-Vostoka*, 2000. 158 p.
19. Shchekleina L. M., Sheshhegova T. K. *Agroekologicheskie aspekty razvitiya Ruccinia dispersa Eriks. I Puccinia graminis Pers. na posevakh ozimoy rzi v Kirovskoy oblasti*. [Agro-ecological aspects of *Puccinia dispersa* Eriks. and *Puccinia graminis* Pers. development in the crops of rye in the Kirov region]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2019;14(1(52)):65-70. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/article_5ccedbb2724b13.28786713
20. Huerta-Espino J., Singh R., Crespo-Herrera L. A., Villaseñor-Mir H. E., Rodriguez-Garcia M. F., Dreisigacker S., Barcenas-Santana D., Lagudah E. Adult Plant Slow Rusting Genes Confer High Levels of Resistance to Rusts in Bread Wheat Cultivars From Mexico. *Front Plant Sci*. 2020;11:824. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00824>

Сведения об авторах

✉ **Щеклеина Люция Муллаахметовна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3589-5524>, e-mail: immunitet@fanc-sv.ru

Шешегова Татьяна Кузьмовна, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2371-4949>

Уткина Елена Игоревна, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой ржи, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5650-6906>

Information about the authors

✉ **Lucia M. Shchekleina**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Immunity and Protection of Plants, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3589-5524>, e-mail: immunitet@fanc-sv.ru

Tatiana K. Sheshhegova, DSc in Biology, leading researcher, the Laboratory of Immunity and Protection of Plants, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2371-4949>

Elena I. Utkina, DSc in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Winter Rye, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5650-6906>

✉ – Для контактов / Corresponding author