

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.230-238>
УДК 633.111.1:632.4:632.08



Сравнительный анализ методов оценки яровой мягкой пшеницы на устойчивость к *Parastagonospora nodorum* и поиск источников признака для селекции

© 2022. А. В. Харина✉, Т. К. Шешегова

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», г.Киров, Российская Федерация

В условиях Кировской области (2017-2021 гг.) изучали 67 сортов яровой мягкой пшеницы по степени устойчивости к септориозу листьев в полевых условиях на фоне естественного развития инфекции. В лабораторных условиях реакцию этих сортов пшеницы на патоген оценивали в начале онтогенеза растений (ювенильная устойчивость) в двух экспериментах: оценка в фазу 2-3 листьев (рулонная культура) и оценка признака на отсечённых листьях. Для инокуляции растений использовали местные штаммы *P. nodorum*, которые были изолированы с поражённых листьев яровой мягкой пшеницы в фазу «молочно-восковая спелость». У всех изолятов методом ПЦР установлена принадлежность к виду *P. nodorum*. Обоснованность использования лабораторных методов инокуляции растений *P. nodorum* для массовой оценки генофонда и целенаправленного поиска устойчивых к септориозу генотипов пшеницы основывается на достоверной (при $P \geq 0,95$) корреляции ($r = 0,57$) устойчивости в начале онтогенеза и у взрослого растения. У сортов, относящихся к одним и тем же группам по устойчивости и восприимчивости, взаимосвязь еще более тесная ($r = 0,69$; $r = 0,71$). Установлено, что при увеличении степени поражения в начале онтогенеза существенно ($r = -0,68$) снижается биомасса растения, в среднем по сортименту на 28 %. Особый интерес для селекции яровой пшеницы представляют сорта с наиболее благоприятным сочетанием низкой скорости нарастания инфекции и устойчивости к септориозу в течение онтогенеза. К таким сортам относятся: Туринская, Эгисар 29 (Россия), Mian Yong №1, Yan Shi 4, Jin Mai 71 (Китай), SSL 25-26, SSL 84-85, UL Alta Blanca (США).

Ключевые слова: септориоз листьев, иммунитет, рулонная культура, метод отсечённых листьев, бензимидазол

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-0008).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Харина А. В., Шешегова Т. К. Сравнительный анализ методов оценки яровой мягкой пшеницы на устойчивость к *Parastagonospora nodorum* и поиск источников признака для селекции. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):230-238. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.230-238>

Поступила: 07.02.2022 Принята к публикации: 01.04.2022 Опубликована онлайн: 20.04.2022

Comparative analysis of methods of assessing spring soft wheat for resistance to *Parastagonospora nodorum* and search for sources of a trait for breeding

© 2022. Anastasia V. Kharina✉, Tatyana K. Sheshegova

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

In the conditions of Kirov region (2017-2021), 67 varieties of spring soft wheat were studied according to the degree of resistance to Septoria leaf blotch in the field against the background of the natural development of infection. Under laboratory conditions, the reaction of these wheat varieties to the pathogen was evaluated at the beginning of plant ontogenesis (juvenile resistance) in two experiments: assessment in the development phase of 2-3 leaves (roll culture) and evaluation of a trait on cut-off leaves. For inoculation of plants, local strains of *P. nodorum* were used. They were isolated from the affected leaves of spring soft wheat in the phase of milk-wax ripeness. All isolates have been identified by PCR as belonging to the species of *P. nodorum*. The validity of using laboratory methods of plant inoculation by *P. nodorum* for mass assessment of the gene pool and purposeful search for wheat genotypes resistant to Septoria is based on a reliable (at $P \geq 0.95$) correlation ($r = 0.57$) of resistance at the beginning of ontogenesis and in adult plants. Varieties belonging to one and the same groups in terms of resistance and susceptibility have an even closer relationship ($r = 0.69$; $r = 0.71$). It has been established that with an increase in the degree of affection at the beginning of ontogenesis, the biomass of the plant significantly ($r = -0.68$) decreases, on average by 28 % in the assortment. Of particular interest for breeding of spring wheat are varieties with the most favorable combina-

tion of low infection rate and resistance to Septoria leaf blotch during ontogenesis. These varieties include: Turinskaya, Egisar 29 (Russia), Mian Yong No.1, Yan Shi 4, Jin Mai 71 (China), SSL 25-26, SSL 84-85, UL Alta Blanca (USA).

Keywords: *Septoria leaf blotch, immunity, roll culture, method of cut-off leaves, benzimidazole*

Acknowledgments: 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 stated no conflict of interest.

For citations: Kharina A. V., Sheshegova T. K. Comparative analysis of methods of assessing spring soft wheat for resistance to *Parastagonospora nodorum* and search for sources of a trait for breeding. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(2):230-238. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.230-238>

Received: 07.02.2022

Accepted for publication: 01.04.2022

Published online: 20.04.2022

В течение длительного периода времени одной из наиболее распространённых и вредоносных болезней яровой мягкой пшеницы является септориоз (*Septoria tritici* Desm., современное название – *Zymoseptoria tritici* (Desm.) и *Stagonospora nodorum* (Berk.). Виды отличаются по биологическим требованиям к климатическим условиям среды, поэтому *S. tritici* чаще встречается в более теплых южных регионах РФ, *S. nodorum* – в северных и восточных [1]. Согласно многолетним исследованиям, на северо-востоке Европейской части России основным возбудителем септориоза пшеницы является *S. nodorum*, в Волго-Вятском регионе его встречаемость в видовой структуре возбудителей составляет 59,7-64,4 %. Кроме того, *S. nodorum* не имеет органотропной специализации и поражает не только листья, но и стебли, колосковые чешуйки и семена пшеницы [2, 3]. Эти биоэкологические факторы патогена являются основанием для выбора видов *Septoria* в конкретных региональных исследованиях [4, 5]. Заболевание провоцирует преждевременное усыхание листьев, снижается их ассимиляционная поверхность и фотосинтетическая активность [5]. Формирование зерна проходит только за счёт колоса и стебля, что приводит к снижению массы 1000 зёрен, натуры и выполненности. Продуктивность снижается на 25-56 %, энергия прорастания и всхожесть зерна падает на 7-12 % [6, 7, 8, 9].

Биологическая эффективность выращивания устойчивых к септориозу сортов достигает 98,5 % [6]. Поэтому современная программа селекции яровой пшеницы на устойчивость к этой болезни должна быть направлена, прежде всего, на расширение генетического разнообразия исходного материала [10, 11]. Поиск источников признака является начальным этапом создания устойчивых сортов, так как выделенные ранее источники со временем теряют эффективность, и появляется необходимость поиска

новых резистентных форм [11, 12, 13, 14, 15]. Эти исследования основываются на разработке и улучшении методов выявления устойчивых генотипов, повышении надёжности и производительности экспериментов. Известно, что в селекции на фитоиммунитет особое значение имеет поиск и отбор устойчивых генотипов уже на ранних стадиях онтогенеза растений. Исследования в камеральных условиях снижают напряженность работ в летний период и отчасти ускоряют селекционный процесс [16, 17]. Кроме того, создание искусственных инфекционных фонов в полевых условиях сопряжены с дополнительной наработкой биоматериала, сложностью контролирования жесткости фона во времени и пространстве, а также с высокими неконтролируемыми взаимодействиями «генотип-среда» и «патоген-среда» [18]. Камеральные методы тестирования исключают эти негативные факторы и обеспечивают получение объективной нормы реакции генотипа на патоген.

Цель исследований. Оценивая перспективы селекции яровой пшеницы на устойчивость к септориозу листьев, возникает необходимость в сравнительном анализе разных методов инокуляции растений *Parastagonospora nodorum* для обоснования использования их в селекционно-иммунологических исследованиях и поиске эффективных в разные стадии онтогенеза источников.

Новизна исследований заключается в получении научных данных по возможности использования лабораторных методов инокуляции растений *P. nodorum* для первичной оценки селекционного материала яровой пшеницы на устойчивость к септориозу листьев.

Материал и методы. Исследования проводили в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2017-2021 гг. Материалом являлись 67 образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов

растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), высеянных в коллекционном питомнике на делянках 1,0 м² в 2-кратной повторности.

Тестирование генофонда пшеницы по возрастной устойчивости к септориозу проводили в фазу «молочная спелость зерна», т. е. в период наибольшего развития болезни, но до начала естественного отмирания листьев. Объем выборки для анализа – не менее 20 растений каждого сорта в 2-кратной повторности.

Для характеристики устойчивости изучаемых сортов пшеницы к септориозу использовали методику¹ и предлагаемую авторами шкалу:

RR – очень высокая устойчивость (степень поражения 0-5 %);

R – устойчивость (6-15 %);

M – умеренная восприимчивость (16-25 %);

S – восприимчивость (26-65 %);

SS – высокая восприимчивость (66-100 %).

В лабораторных условиях реакцию изучаемых 67 сортов пшеницы на патоген оценивали в начале онтогенеза растений (ювенильная устойчивость) в двух экспериментах: в фазу 2-3 листьев (рулонная культура); на отсечённых листьях.

Первый эксперимент проводили на двух фонах: контроль (без инфекции) и опыт (*P. nodorum*). На обоих фонах семена перед закладкой опыта в течение 5 мин. замачивали в 1-2%-ном растворе K₂MnO₄ для исключения влияния на растительно-микробные взаимодействия *Triticum aestivum* – *P. nodorum* поверхностной сапрофитной микрофлоры. Растения, выращенные в рулонах фильтровальной бумаги с использованием раствора Кнопа, в фазу 1-3 листьев опрыскивали суспензией местных изолятов *P. nodorum* в концентрации 1 × 10⁶ спор/мл и расходе инокулята – 100 мл/м² [19]. Перед нанесением в суспензию добавляли каплю поверхностно-активного вещества Твин 20. В контрольном варианте растения опрыскивали водой. Учет септориоза листьев проводили в динамике развития болезни для выявления сортов, характеризующихся устойчивостью и медленным нарастанием инфекции (*slow rusting*). Первую оценку проводили на третий день после заражения, т. е. при появлении первых симптомов болезни, а последующие – каждые 3 дня до начала естественного отмирания листьев. Далее рассчитывали пока-

затель ПКРБ (площадь под кривой развития болезни), который является основным критерием неспецифической устойчивости [14]:

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

где X₁ – интенсивность развития болезни в первый учёт, %;

X₂ – интенсивность развития болезни во второй учёт, %;

X_n – интенсивность развития болезни в последний учёт, %;

t₂ - t₁ – количество дней между первым и вторым учётом,

t_n + t_{n-1} – количество дней между последним и предпоследним учётом.

Негативное влияние *P. nodorum* на биомассу растений каждого сорта оценивали после взвешивания их при последнем учёте и отражали в процентах к контролю.

Во втором лабораторном эксперименте использовали универсальную общеизвестную методику оценки степени поражения отсечённых листьев, помещённых в чашки Петри на 0,004 % раствор бензимидазола². Для этого у 14-дневных проростков каждого сорта отсекали отрезки листьев длиной 3,5-4,0 см и с помощью пульверизатора инокулировали тем же титром споровой суспензии *P. nodorum*. У каждого сорта оценивали по 10 листьев в 3-кратной повторности. Учет болезни проводили однократно при четких проявлениях септориозных пятнистостей и до начала естественного отмирания листьев [20]. Этот метод особенно актуален при недостатке инфекционного биоматериала и массовой оценке генофонда.

В обоих лабораторных экспериментах для инокуляции растений использовали местные штаммы *P. nodorum*, которые были изолированы с поражённых листьев яровой мягкой пшеницы на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в фазу «молочно-восковая спелость». Для подтверждения видовой идентификации ДНК восемь местных изолятов гриба подвергали ПЦР-анализу в режиме реального времени, используя коммерческую тест-систему «Септориоз злаков (*Stagonospora nodorum*)» («Агродиагностика», Россия). У всех изолятов установлена принадлежность к виду *P. nodorum*. Для инокуляции использовали 3 штамма (ТС, Н-9 и TR-1) с высокими параметрами патогенности и споруляции.

¹Пыжиков Г. В., Санина А. А., Супрун Л. М., Курахтанова Т. И., Гогаева Т. И., Мепаришвили С. У., Анциферова Л. В., Кузнецов Н. С., Игнатов А. Н., Кузьмичев А. А. Методы оценки устойчивости селекционного материала и сортов пшеницы к септориозу. М., 1989. 43 с.

²Михайлова Л. А., Квитко К. В. Лабораторные методы культивирования возбудителя бурой ржавчины пшеницы *Puccinia recondite* f. sp. tritici Rob. Ex Desm. Микология и фитопатология. 1970;4:269-273.

Полученные данные статистически обрабатывали методами дисперсионного и корреляционного анализов по Б. А. Доспехову³ с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel 2007.

Результаты исследований. Погодные условия в годы полевых исследований были в целом провокационными для развития видов *Septoria spp.*, о чем косвенным образом свидетельствует уровень гидротермического коэффициента в период «выход в трубку-молочная спелость», который варьировал от 1,89 до 2,13. Исследованиями [1] установлена тесная связь между развитием септориоза и интенсивностью осадков в этот период. В этих условиях степень поражения индикаторных сортов (наиболее восприимчивых) достигала 82 %, что характеризует естественный инфекционный фон патогена в годы исследований как достаточно жесткий для получения объективной оценки генотипа.

Изучение коллекционного генофонда яровой пшеницы в полевых условиях показало, что высокой возрастной устойчивостью к септориозу характеризовались лишь три сорта: Epos, Терция и Нива 2, степень поражения которых за годы исследований не превышала 5,0 %. К устойчивым отнесены сорта: Фора, Скала, Тобольская, Красноярская 12, Тюменская 29, Московская 35, Новосибирская 18, Воронежская 20, Сигма, Уральская кукушка, Сибирская 21, Long Chun 8, Yun Mai 27, Yun Mai 35 и Xenos. Большинство сортов (31,5 %) проявили умеренную восприимчивость к болезни, а сорта Бурятская 551 и Korinta – восприимчивость [21].

В лабораторном эксперименте степень поражения контрольных растений на конец опыта составила в среднем по сортименту 5,7 %. Наличие симптомов болезни на инокулированных растениях обусловлено, вероятно, внутренней семенной инфекцией, поскольку легкое обеззараживание K_2MnO_4 снимает только поверхностную инфекцию. Однако известно, что даже полноценное протравливание семян часто не убивает внутрисеменную инфекцию, поскольку она может быть локализована во внутренних слоях перикарпия или в зародыше [22]. Степень поражения инокулированных растений к последнему учету септориоза составила в среднем по сортименту 41,5 % при состоянии признака у индикатор-

ного сорта 71,8 % (табл. 1). Наибольшая часть изучаемых сортов (86,6 %) в стадии проростков была отнесена к восприимчивым, в том числе стандарты Каменка и Баженка. Устойчивость проявили только два сорта: UL Alta Blanca и Mian Yong №1, а умеренной восприимчивостью характеризовались четыре: Yan Shi 4, Jin Mai 71, SSL 25-26, SSL 84-85. Степень поражения их при инокуляции была на уровне 12,1-25,8 %, что достоверно выше контроля.

Вредоносность септориозной инфекции в начале онтогенеза растений выразилась в существенном (при $P \geq 0,05$) снижении биомассы на фоне инокуляции *P. nodorum*. Между контрольным и инфекционным фоном по этому показателю установлена достоверная (при $P \geq 0,05$) корреляционная зависимость ($r = -0,68$).

Характер нарастания инфекции на разных по восприимчивости сортах пшеницы наглядно показан на рисунке. Степень поражения листьев между наиболее устойчивым к септориозу китайским сортом Mian Yong №1 и индикатором Тулайковская надежда при всех учетах отличалась на 35,7-59,7 %.

Суммарной оценкой интенсивности нарастания инфекции является относительный показатель ПКРБ. Чем больше его значение, тем интенсивнее степень поражения у конкретного сорта. В наших исследованиях состояние ПКРБ у изучаемого генофонда пшеницы варьировало в значительных пределах – от 74 до 518 единиц. Практический интерес для селекции представляют, наряду со слабопоражаемыми формами, сорта, характеризующиеся медленным нарастанием септориоза (slow rusting) в сортовых биоценозах, что позволяет им сохранять высокие параметры фотосинтетических пигментов (хлорофилл *a*, *b*, каротиноиды) достаточно длительное время. Принято считать, что оптимизация работы фотосинтетического аппарата способствует росту продуктивности растений до 60 % [23].

В наших исследованиях относительно медленное нарастание степени поражения листьев при искусственной инокуляции *P. nodorum* выявлено у сортов, данных в таблице 2. Особую селекционную ценность представляют сорта: Mian Yong №1, SSL 84-85, SSL 25-26, UL Alta Blanca, Yan Shi 4, Jin Mai 71, Туринская и Эгисар 29 с высоким уровнем устойчивости во все периоды учета болезни и относительно низким значением ПКРБ.

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1968. 335 с.

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT PROTECTION

Таблица 1 – Сорты яровой мягкой пшеницы с ювенильной устойчивостью к септориозу листьев (рулонная культура) /

Table 1 – Spring soft wheat varieties with juvenile to Septoria leaf blotch (roll culture)

Сорт / Variety	Происхождение / Origin	Степень поражения, % / Degree of affection, %		Масса растений, г / Weight of plants, g	
		без инокуляции / without inoculation	при инокуляции / during inoculation	без инокуляции / without inoculation	при инокуляции / during inoculation
Баженка – ст. / Vazhenka – st.	Кировская обл. / Kirov region	18,6	59,7	0,26	0,26
Каменка – ст. / Kamenka – st.	Владимирская обл. / Vladimir region	10,1	51,2	0,29	0,28
Туринская / Turinskaya	Тюменская обл. / Tyumen region	2,5	22,3	0,36	0,28
Эгисар 29 / Egisar 29	Самарская обл. / Samara region	7,8	22,2	0,38	0,34
Mian Yong № 1	Китай / China	3,3	12,1	0,36	0,34
Yan Shi 4		0,0	17,4	0,39	0,27
Jin Mai 71		2,5	21,1	0,31	0,28
UL Alta Blanca	США / USA	2,5	14,3	0,32	0,25
SSL 25-26		2,2	25,8	0,30	0,24
SSL 84-85		12,1	25,8	0,23	0,21
Тулайковская надежда – индикатор / Tulajkovskaya nadezhda – indicator	Самарская обл. / Samara region	26,7	71,8	0,29	0,19
Среднее по опыту / Average by the experiment		5,7	41,5	0,32	0,23
HCP ₀₅ (фон) / LSD ₀₅ (background)		2,1		0,08	
HCP ₀₅ (сорт) / LSD ₀₅ (variety)		9,1		0,32	

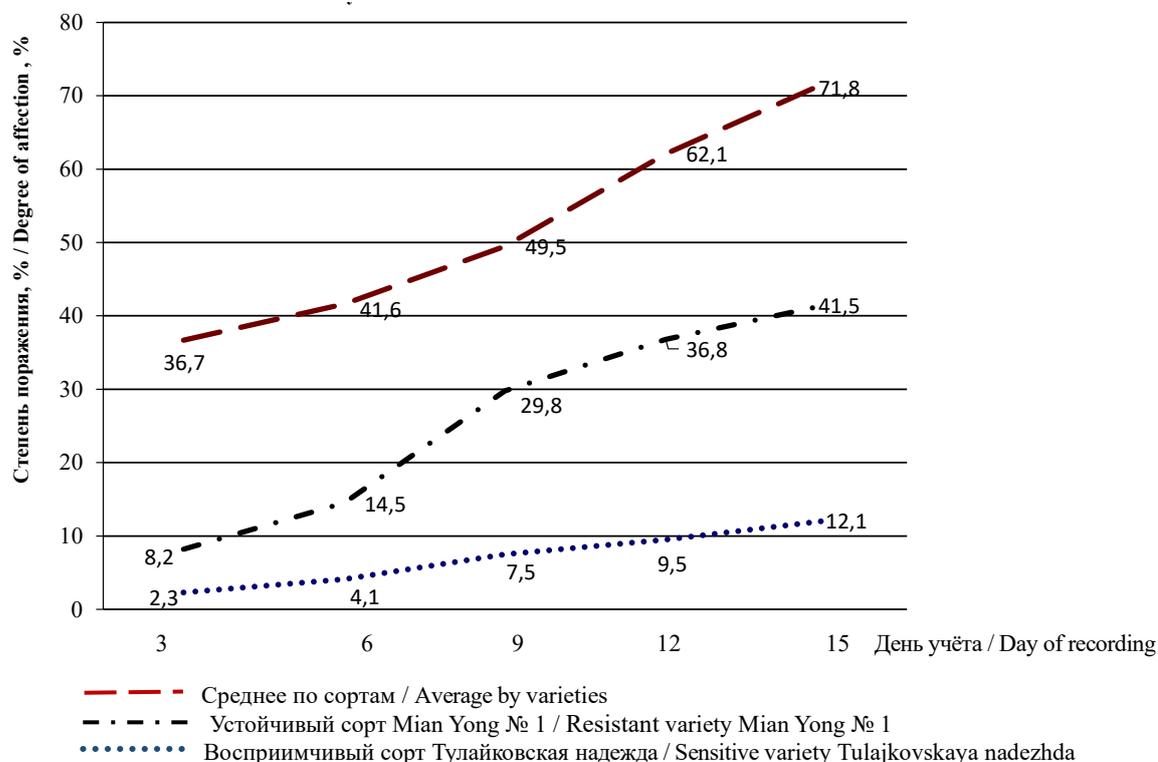


Рис. Динамика нарастания септориоза на разных по восприимчивости сортах яровой мягкой пшеницы в лабораторном опыте (рулонная культура) /

Fig. Dynamics of Septoria disease growth on varieties of spring soft wheat with different susceptibility rates in laboratory test (roll culture)

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ /
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT PROTECTION**

Таблица 2 – Сорты яровой мягкой пшеницы с замедленным развитием септориоза листьев в лабораторном опыте (рулонная культура) /

Table 2 – Spring soft wheat varieties with slow development of Septoria leaf blotch in laboratory test (roll culture)

<i>Сорт / Variety</i>	<i>Происхождение / Origin</i>	<i>Степень поражения в день учёта, % / Degree of affection on the day of recording, %</i>					<i>ПКРБ / Area under disease progress curve</i>
		3	6	9	12	15	
Баженка – ст. / Vazhenka – st.	Кировская обл. / Kirov region	20,4	22,8	28,0	39,8	59,7	340
Каменка – ст. / Kamenka – st.	Владимирская обл. / Vladimir region	14,1	17,1	34,6	44,5	51,2	343
Туринская / Turinskaya	Тюменская обл. / Tyumen region	5,8	6,2	7,5	15,3	22,3	107
Эгисар 29 / Egisar 29	Самарская обл. / Samara region	10,2	14,9	19,0	20,9	22,2	176
Mian Yong № 1	Китай / China	2,3	4,1	7,5	9,5	12,1	74
Yan Shi 4		6,5	6,9	8,8	10,1	17,4	104
Jin Mai 71		6,2	8,3	9,7	17,5	21,1	117
UL Alta Blanca	США / USA	7,5	8,2	10,0	11,9	14,3	104
SSL 25-26		11,7	17,3	22,6	24,1	25,8	207
SSL 84-85		19,1	20,4	22,1	23,8	25,8	222
Тулайковская надежда – индикатор / Tulajkovskaya nadezhda – indicator	Самарская обл. / Samara region	36,7	43,5	49,5	66,8	71,8	519
Среднее по опыту / Average by the experiment		14,5	22,2	29,8	37,6	41,5	-

Таблица 3 – Сравнение методов оценки яровой мягкой пшеницы по степени поражения септориозом листьев на примере наиболее устойчивых сортов, % /

Table 3 – Comparison of methods for evaluating spring soft wheat varieties by the degree of affection with Septoria leaf blotch the case of the most resistible varieties, %

<i>Сорт / Variety</i>	<i>Происхождение / Origin</i>	<i>В полевых условиях / In field</i>	<i>В лабораторных экспериментах / In laboratory experiments</i>	
			<i>на отсечённых листьях / on the cut-off leaves</i>	<i>в фазу 2-3 листьев / in the phase of 2-3 leaves</i>
Баженка – ст. / Vazhenka -st.	Кировская обл. / Kirov region	17,6	37,5	59,7
Каменка – ст. / Kamenka – st.	Владимирская обл. / Vladimir region	6,5	30,5	51,2
Mian Yong № 1	Китай / China	15,2	0,7	12,1
UL Alta Blanca	США / USA	14,3	15,0	14,3
Туринская / Turinskaya	Тюменская обл. / Tyumen Region	22,3	23,1	22,3
Эгисар 29 / Egisar 29	Самарская обл. / Samara Region	22,2	20,8	22,2
Yan Shi 4	Китай / China	17,4	16,1	17,4
Jin Mai 71		21,1	22,8	21,1
SSL 25-26	США / USA	25,8	24,6	25,8
SSL 84-85		25,8	24,8	25,8
Тулайковская надежда – индикатор / Tulajkovskaya nadezhda – indicator	Самарская обл. / Samara region	32,5	70,8	71,8
Среднее по опыту / Average by the experiment		27,4	23,7	41,5
HCP ₀₅ / LSD ₀₅		20,8	17,7	16,1

Второй лабораторный метод оценки на отсеченных листьях выявил лишь 4 устойчивых к септориозу сорта: Mian Yong № 1, Терция, UL Alta Blanca, Yan Shi 4. Устойчивость трех из них (Mian Yong № 1, UL Alta Blanca, Yan Shi 4) подтверждается как лабораторными экспериментами, так и изучением в полевых условиях (табл. 3).

Обоснованность использования лабораторных методов инокуляции растений *P. nodorum* для массовой оценки генофонда и целенаправленного поиска устойчивых к септориозу генотипов пшеницы основывается на достоверной (при $P \geq 0,95$) корреляции ($r = 0,57$) устойчивости в начале онтогенеза и у взрослого растения. У сортов, относящихся к одним и тем же группам по устойчивости и восприимчивости, взаимосвязь еще более тесная ($r = 0,69$; $r = 0,71$).

Заключение. Таким образом, в результате сравнительного анализа методов инокуляции и оценки яровой пшеницы на устойчивость к септориозу установлена достоверная корреляционная связь среднего и тесного типа между оценкой генофонда в полевых условиях

и лабораторных тестах с инокуляцией растений *Parastagonospora nodorum*.

Выявленные взаимосвязи свидетельствуют, что в большинстве случаев данные по устойчивости проростков можно экстраполировать на устойчивость яровой пшеницы к септориозу листьев во взрослой стадии, что особенно важно в системе косвенного отбора. Поэтому лабораторный экспресс-метод можно считать основанием для первичной оценки исходного материала на устойчивость к этой болезни и отбора иммунных и высокоустойчивых растений.

Повышенный интерес для практической селекции представляют наиболее устойчивые к *Parastagonospora nodorum* сорта: UL Alta Blanca, Mian Yong №1, Yan Shi 4, Jin Mai 71, Туринская Эгисар 29, SSL 25-26, SSL 84-85. Они отличаются также замедленным развитием болезни. Среди них UL Alta Blanca, Mian Yong №1, Yan Shi 4 характеризуются устойчивостью к болезни в стадии проростков и взрослого растения.

Список литературы

1. Санин С. С., Корнева Л. Г., Поляков Т. М. Прогноз риска развития эпифитотий септориоза листьев и колоса пшеницы. Защита и карантин растений. 2015;(3):33-36. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23077289>
2. Бакулина А. В., Харина А. В., Широких А. А. Септориоз листьев и колоса пшеницы: генетический контроль устойчивости хозяина (обзор). Теоретическая и прикладная экология. 2020;(2):26-35. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-2-026-035>
3. Санин С. С., Назарова Л. Н., Стрижекозин Ю. А., Корнева Л. Г., Жохова Т. П., Полякова Т. М., Копорова Т. И. Фитосанитарная обстановка на посевах пшеницы в Российской Федерации (1991-2008 гг.). Защита и карантин растений. 2010;(2):70-80.
4. Downie R. C., Lin M., Corsi B., Ficke A., Lillemo M., Oliver R. P., Phan H. T. T., Tan K.-Ch., Cockram J. *Septoria nodorum* blotch of wheat: disease management and resistance breeding in the face of shifting disease dynamics and a changing environment. *Phytopathology*. 2021;111(6):906-920. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-20-0280-RVW>
5. Phan H. T. T., Furuki E., Hunziker L., Rybak K., Tan K.-Ch. GWAS analysis reveals distinct pathogenicity profiles of Australian *Parastagonospora nodorum* isolates and identification of marker-trait-associations to septoria nodorum blotch. *Sci Rep*. 2021;11(1):10085. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87829-0>
6. Волкова Л. В., Шешегова Т. К. Урожайность и содержание фотосинтетических пигментов в листьях яровой пшеницы при поражении септориозом. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2019;(3):17-25. DOI: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2019-52-3-17-25>
7. Торопова Е. Ю., Казакова О. А., Селюк М. П. Мониторинг септориоза яровой пшеницы в лесостепи Западной Сибири. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(12):33-35. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28147485>
8. Кондратенко Е. П., Егушова Е. А., Косолапова А. А., Сергеева И. А., Яковченко М. А. Сравнительная характеристика урожайности и качества зерна сортов яровой пшеницы на серых лесных почвах. Вестник КрасГАУ. 2016;(6):105-112. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26178709>
9. Fones H., Gurr S. The impact of *Septoria tritici* blotch disease on wheat: An EU perspective. *Fungal Genetics and Biology*. 2015;79:3-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2015.04.004>
10. Mehra L. K., Adhikari U., Ojiambo P. S. *Septoria nodorum* blotch of wheat. *The Plant Health Instructor*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2019-0514-01>
11. Phan H. T. T., Rybak K., Bertazzoni S., Furuki E., Dinglasan E., Hickey L. T., Oliver R. P., Tun K.-Ch. Novel sources of resistance to *Septoria nodorum* blotch in the Vavilov wheat collection identified by genome-wide association studies. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018;131(6):1223-1238. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3073-y>
12. Санин С. С., Санина А. А., Мотовилин А. А., Пахолкова Е. В., Корнева Л. Г., Жохова Т. П., Полякова Т. М. Защита пшеницы от септориоза. Защита и карантин растений. 2012;(4):61-82.
13. Коломиец Т. М., Панкратова Л. Ф., Скатынок О. О., Пахолкова Е. В. Создание генбанка источников устойчивости сортов пшеницы к септориозу. Защита и карантин растений. 2015;(7):44-46. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23688479>

14. Коломиец Т. М., Панкратова Л. Ф., Пахолкова Е. В. Сорты пшеницы (*Triticum L.*) из коллекции Grin (США) для использования в селекции на длительную устойчивость к септориозу. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(3):561-569. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.561rus>
15. Пожерукова В. Е., Шаманин В. П., Гладких М. С., Чурсин А. С., Гультяева Е. И. Оценка коллекции сортов сети КАСИБ в условиях Южной лесостепи Западной Сибири. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2019;1(33):30-37. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37367918>
16. Шаманин В. П., Потоцкая И. В. Иммунологическая оценка сортов яровой мягкой пшеницы селекционного питомника КАСИБ. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016;2(22):5-10. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26583991>
17. Агеева Е. В., Лихенко И. Е., Советов В. В. Оценка сортов и линий мягкой яровой пшеницы Казахстанско-Сибирского питомника в условиях лесостепи Новосибирской области. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2018;4(32):5-12. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36708234>
18. Тырышкин Л. Г. Ювенильная устойчивость сортов зерновых культур к болезням. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2018;50(3):37-41. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32741853>
9. Тырышкин Л. Г., Темирбекова С. К., Кудрявцева Е. Ю., Зуев Е. В. Эффективная ювенильная устойчивость образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР к листовой ржавчине и темно-бурой листовой пятнистости. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021;3(3):18-23. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/3/18-23>
20. Яруллина Л. Г., Касимова Р. И., Шпирная И. А., Ахатова А. Р., Ибрагимов Р. И. Сравнительное изучение устойчивости к септориозу и физиологических показателей у разных сортов пшеницы. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013;15(3-5):1536-1540. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21475415>
21. Харина А. В., Шешегова Т. К. Поиск устойчивого к септориозу исходного материала яровой мягкой пшеницы и анализ наследования признака. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):212-222. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.212-222>
22. Монастырский О. А. Токсикообразующие грибы и микотоксины. Защита и карантин растений. 2006;(11):18-20.
23. Furbank R. T., Quick W. P., Sirault X. R. R. Improving photosynthesis and yield potential in cereal crops by targeted genetic manipulation: progress and challenges. Fild. Crop. Research. 2015;182:19-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.04.009>

References

1. Sanin S. S., Korneva L. G., Polyakov T. M. *Prognoz riska razvitiya epifitotiy septorioza list'ev i kolosa pshenitsy*. [Forecast of risk of development of epiphytotic of a septoria leaf blotch of leaves and ear of wheat]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2015;(3):33-36. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23077289>
2. Bakulina A. V., Kharina A. V., Shirokikh A. A. *Septoriz list'ev i kolosa pshenitsy: geneticheskii kontrol' ustoychivosti khozyaina (obzor)*. [Septoria tritici and Stagonospora nodorum blotch of wheat: genetic control of host resistance (review)]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2020;(2):26-35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-2-026-035>
3. Sanin S. S., Nazarova L. N., Strizhekozina Yu. A., Korneva L. G., Zhokhova T. P., Polyakova T. M., Koporova T. I. *Fitosanitarnaya obstanovka na posevakh pshenitsy v Rossiyskoy Federatsii (1991-2008 gg.)*. [Phytosanitary situation in wheat crops in the Russian Federation (1991-2008)]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2010;(2):70-80. (In Russ.).
4. Downie R. C., Lin M., Corsi B., Ficke A., Lillemo M., Oliver R. P., Phan H. T. T., Tan K.-Ch., Cockram J. *Septoria nodorum blotch of wheat: disease management and resistance breeding in the face of shifting disease dynamics and a changing environment*. *Phytopathology*. 2021;111(6):906-920. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-20-0280-RVW>
5. Phan H. T. T., Furuki E., Hunziker L., Rybak K., Tan K.-Ch. GWAS analysis reveals distinct pathogenicity profiles of Australian *Parastagonospora nodorum* isolates and identification of marker-trait-associations to septoria nodorum blotch. *Sci Rep*. 2021;11(1):10085. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87829-0>
6. Volkova L. V., Sheshegova T. K. *Urozhaynost' i sodержanie fotosinteticheskikh pigmentov v list'yakh yarovoy pshenitsy pri porazhenii septoriozom*. [Crop yield and concentration of photosynthetic pigments in the leaves of the spring wheat when they suffering from septoria blight]. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet) = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2019;(3):17-25. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2019-52-3-17-25>
7. Toropova E. Yu., Kazakova O. A., Selyuk M. P. *Monitoring septorioza yarovoy pshenitsy v lesostepi Zapadnoy Sibiri*. [Monitoring of septoria blight on spring wheat in the forest-steppe of Western Siberia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2016;30(12):33-35. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28147485>
8. Kondratenko E. P., Egushova E. A., Kosolapova A. A., Sergeeva I. A., Yakovchenko M. A. *Sravnitel'naya kharakteristika urozhaynosti i kachestva zerna sortov yarovoy pshenitsy na serykh lesnykh pochvakh*. [Comparative characteristics of yield and grain quality of spring wheat varieties on gray forest soils]. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2016;(6):105-112. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26178709>
9. Fones H., Gurr S. The impact of Septoria tritici blotch disease on wheat: An EU perspective. *Fungal Genetics and Biology*. 2015;79:3-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2015.04.004>
10. Mehra L. K., Adhikari U., Ojiambo P. S. Septoria nodorum blotch of wheat. *The Plant Health Instructor*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2019-0514-01>
11. Phan H. T. T., Rybak K., Bertazzoni S., Furuki E., Dinglasan E., Hickey L. T., Oliver R. P., Tun K.-Ch. Novel sources of resistance to Septoria nodorum blotch in the Vavilov wheat collection identified by genome-wide association studies. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018;131(6):1223-1238. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3073-y>
12. Sanin S. S., Sanina A. A., Motovilin A. A., Pakholkova E. V., Korneva L. G., Zhokhova T. P., Polyakova T. M. *Zashchita pshenitsy ot septorioza*. [Protection of wheat from Septoria leaf blotch]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2012;(4):61-82. (In Russ.).

13. Kolomiets T. M., Pankratova L. F., Skatenok O. O., Pakholkova E. V. *Sozdanie genbanka istochnikov ustoychivosti sortov pshenitsy k septoriozu*. [Creation of genebank of wheat resistance sources to septoria disease]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2015;(7):44-46. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23688479>
14. Kolomiets T. M., Pankratova L. F., Pakholkova E. V. *Sorta pshenitsy (Triticum L.) iz kolleksii Grin (SShA) dlya ispol'zovaniya v seleksii na dlitel'nyuyu ustoychivost' k septoriozu*. [Wheat (*Triticum L.*) cultivars from grin collection (USA) selected for durable resistance to *Septoria tritici* and *Stagonospora nodorum* blotch]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2017;52(3):561-569. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2017.3.561rus>
15. Pozherukova V. E., Shamanin V. P., Gladkikh M. S., Chursin A. S., Gul'tyaeva E. I. *Otsenka kolleksii sortov seti KASIB v usloviyakh Yuzhnoy lesostepi Zapadnoy Sibiri*. [Evaluation of KASIB network varieties collection in the conditions of southern forest-steppe of Western Siberia]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Omsk SAU*. 2019;(1(33)):30-37. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37367918>
16. Shamanin V. P., Pototskaya I. V. *Immunologicheskaya otsenka sortov yarovoy myagkoy pshenitsy selektsionnogo pitomnika KASIB*. [Immunological evaluation of spring bread wheat varieties of breeding nursery KASIB]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Omsk SAU*. 2016;(2(22)):5-10. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26583991>
17. Ageeva E. V., Likhenko I. E., Sovetov V. V. *Otsenka sortov i liniy myagkoy yarovoy pshenitsy Kazakhstansko-Sibirskogo pitomnika v usloviyakh lesostepi Novosibirskoy oblasti*. [Assessment of varieties and lines of soft spring wheat of the Kazakhstan-Siberian nursery in the conditions of the forest-steppe of the Novosibirsk region]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Omsk SAU*. 2018;(4(32)):5-12. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36708234>
18. Tyryshkin L. G. *Yuvenil'naya ustoychivost' sortov zernovykh kul'tur k boleznyam*. [Uvenile resistance of cereal crop varieties to diseases]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2018;1(50):37-41. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32741853>
19. Tyryshkin L. G., Temirbekova S. K., Kudryavtseva E. Yu., Zuev E. V. *Effektivnaya yuvenil'naya ustoychivost' obraztsov yarovoy myagkoy pshenitsy iz kolleksii VIR k listovoy rzhavchine i temno-buroy listovoy pyatnistosti*. [Effective juvenile resistance of spring soft wheat samples from the VIR collection to leaf rust and dark brown leaf spot]. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki = Vestnik of the Russian agricultural science*. 2021;(3):18-23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/3/18-23>
20. Yarullina L. G., Kasimova R. I., Shpirnaya I. A., Akhatova A. R., Ibragimov R. I. *Sravnitel'noe izuchenie ustoychivosti k septoriozu i fiziologicheskikh pokazateley u raznykh sortov pshenitsy*. [Comparative research of resistance to septoria and physiological features in different wheat variety]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2013;15(3-5):1536-1540. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21475415>
21. Kharina A. V., Sheshhegova T. K. *Poisk ustoychivogo k septoriozu iskhodnogo materiala yarovoy myagkoy pshenitsy i analiz nasledovaniya priznaka*. [Search for the parent material of spring soft wheat resistant to septoria tritici blotch and analysis of the trait inheritance]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(2):212-222. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.212-222>
22. Monastyrskiy O. A. *Toksinoobrazuyushchie griby i mikotoksiny*. [Toxin-forming fungi and mycotoxins]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2006;(11):18-20. (In Russ.).
23. Furbank R. T., Quick W. P., Sirault X. R. R. Improving photosynthesis and yield potential in cereal crops by targeted genetic manipulation: progress and challenges. *Fild. Crop. Research*. 2015;182:19-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.04.009>

Сведения об авторах

✉ **Харина Анастасия Владимировна**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии и селекции, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166-а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0554-5814>, e-mail: Khavchas@yandex.ru

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

Information about the authors

✉ **Anastasiya V. Kharina**, PhD in Agricultural Science, researcher, the Laboratory of Molecular Biology and Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0554-5814>, e-mail: Khavchas@yandex.ru

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

✉ – Для контактов / Corresponding author