

Оригинальная статья / Original article

УДК: 632.4.01/.08

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-161-172

Устойчивость к ржавчинам образцов пшеницы и тритикале в разные фазы онтогенеза

Галина В. Волкова, Ольга А. Кудинова, Олеся О. Игнатъева, Валерия Д. Агапова, Екатерина В. Гладкова, Ольга Ф. Ваганова, Ирина П. Матвеева

Федеральный научный центр биологической защиты растений (ФГБНУ ФНЦБЗР), Краснодар, Россия

Контактное лицо

Ольга А. Кудинова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням, ФГБНУ ФНЦБЗР; 350040 Россия, г. Краснодар, ул. ВНИИБЗР, 1.

Тел. +79649031234

Email alosa@list.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0568-4312>

Формат цитирования

Волкова Г.В., Кудинова О.А., Игнатъева О.О., Агапова В.Д., Гладкова Е.В., Ваганова О.Ф., Матвеева И.П. Устойчивость к ржавчинам образцов пшеницы и тритикале в разные фазы онтогенеза // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 4. С. 161-172. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-161-172

Получена 4 августа 2023 г.

Прошла рецензирование 14 сентября 2023 г.

Принята 5 октября 2023 г.

Резюме

Цель. Изучить устойчивость к бурой, желтой и стеблевой ржавчинам образцов озимой и яровой пшеницы и озимой тритикале из коллекции ВИР и селекционных центров юга России в разные фазы онтогенеза и выявить новые источники с групповой устойчивостью.

Материал и методы. Проанализирована устойчивость 158 образцов пшеницы и тритикале из коллекции ВИР и южных селекционных центров к популяциям бурой, стеблевой и желтой ржавчины в разные фазы онтогенеза в течение 2016–2019 гг. В ювенильной фазе изучаемые образцы в условиях камеры искусственного климата ФГБНУ ФНЦБЗР инокулировали популяциями ржавчинных грибов и отмечали тип реакции растений на поражение, в полевых условиях образцы оценивали по методике CIMMYT на искусственном инфекционном фоне.

Результаты. В фазу взрослых растений в условиях поля было выявлено 79 образцов пшеницы и тритикале с групповой устойчивостью к трем ржавчинам, в ювенильную фазу – 26 образцов. 22 образца обладают устойчивостью к трем ржавчинам и в обе фазы онтогенеза. Из них 5 образцов принадлежат коллекции ВИР, 3 сорта озимой тритикале (Дозор, Князь, Сват) и сорт пшеницы Кавалерка селекции ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко», 9 линий от ФГБНУ «АНЦ «Донской» и ФГБНУ ФРАНЦ и 4 сорта озимой тритикале (Атаман Платов, Зимогор, Капрал, Легион) селекции ФГБНУ ФРАНЦ.

Заключение. Выявленные образцы пшеницы и тритикале, обладающие групповой устойчивостью, являются перспективными для использования в селекции на иммунитет к ржавчинным болезням.

Ключевые слова

Пшеница, тритикале, бурая ржавчина, желтая ржавчина, стеблевая ржавчина, *Puccinia triticina*, *Puccinia striiformis*, *Puccinia graminis*, устойчивость, популяция.

Rust resistance of wheat and triticale samples in different plant growing stages

Galina V. Volkova, Olga A. Kudinova, Olesya O. Ignatieva, Valeriya D. Agapova,
Ekaterina V. Gladkova, Olga F. Vaganova and Irina P. Matveeva

Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

Principal contact

Olga A. Kudinova, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Plant Immunity to Diseases, Federal Research Centre of Biological Plant Protection; 1 VNIIBZR St, Krasnodar, Russia 350040.

Tel. +79649031234

Email alosa@list.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0568-4312>

How to cite this article

Volkova G.V., Kudinova O.A., Ignatieva O.O., Agapova V.D., Gladkova E.V., Vaganova O.F., Matveeva I.P. Rust resistance of wheat and triticale samples in different plant growing stages. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 4, pp. 161-172. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-161-172

Received 4 August 2023

Revised 14 September 2023

Accepted 5 October 2023

Abstract

Aim. To study resistance to leaf, yellow and stem rusts of winter and spring wheat and winter triticale samples from the collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) and breeding centres of southern Russia in different phases of ontogenesis and to identify new sources with group resistance.

Material and Methods. The resistance of 158 wheat and triticale samples from the VIR collection and southern breeding centres to populations of leaf, stem and yellow rusts in different plant growth stages was analysed. In the juvenile phase the samples studied were inoculated with populations of rust fungi in climate chambers of the Federal Research Centre of Biological Plant Protection and the type of plant reaction to lesions was noted. In field conditions the samples were evaluated according to the CIMMYT scale on an artificial infectious background.

Results. In the adult plant stage under field conditions 79 wheat and triticale samples with group resistance to leaf, yellow and stem rusts were identified, and in the juvenile stage 26 samples. 22 samples showed resistance to three rusts in both phases of ontogenesis. Of these, 5 samples belong to the VIR collection, 3 winter triticale varieties (Dozor, Knyaz, Svat) and the Kavalerka wheat variety selection of the P.P. Lukyanenko National Grain Centre, 9 lines from the Donskoy Agrarian Research Centre and the Federal Rostov Agrarian Research Centre, and 4 winter triticale varieties (Ataman Platov, Zimogor, Kapral, Legion) of selections of the Federal Rostov Agrarian Research Centre.

Conclusion. The samples of wheat and winter triticale with group resistance which have been identified are promising for use in breeding for immunity to rust diseases.

Key Words

Wheat, triticale, leaf rust, stripe rust, stem rust, *Puccinia triticina*, *Puccinia striiformis*, *Puccinia graminis*, resistance, population.

ВВЕДЕНИЕ

Пшеница – одна из наиболее широко возделываемых зерновых культур в мире, годовой объем производства которой составляет около 761 млн тонн [1]. Южный регион, имеющий наиболее благоприятные климатические условия, является основным поставщиком зерна в России. Тритикале – искусственный амфиплоидный гибрид, полученный в результате скрещивания женской родительской гексаплоидной или тетраплоидной пшеницы (*Triticum* sp.) и ржи мужского пола (*Secale cereale* L.) [2]. Хотя 90 % посевных площадей тритикале находится в Европе [3], для России тритикале также является перспективной культурой [4]. Её преимуществом является высокая урожайность зерна и экологическая пластичность [5]. При этом тритикале, подобно пшенице, поражается различными грибными болезнями. Ржавчины пшеницы, среди которых желтая (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), бурая (*Puccinia triticina* f. sp. *tritici*) и стеблевая (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*), широко распространены и считаются самыми вредоносными патогенами пшеницы и тритикале в мире [6]. Ржавчины вызывают серьезные потери урожая, угрожая продовольственной безопасности [7; 8].

Стеблевая ржавчина (*P. graminis*) исторически является наиболее опасным заболеванием пшеницы [9], она единственная из всех ржавчин способна вызвать гибель растения [10]. Ежегодные потери урожая могут достигать 30–40 % и более [11]. Современные средства позволяют эффективно контролировать патоген, однако с обнаружением угандийской расы *Ug99*, вирулентной к *Sr31*, болезнь вновь стала серьезной угрозой, поскольку гены устойчивости к стеблевой ржавчине теряют свою эффективность [12; 13]. Более 80 % пшеницы в мире является восприимчивой к *Ug99* [14].

В России стеблевая ржавчина не имела экономического значения в южном и центральном регионах России, но начиная с 2010 года в центральном регионе периодически отмечаются вспышки заболевания [15]. В Уральском и Сибирском регионах, начиная с 2008 года, болезнь регистрируется ежегодно [16].

Желтая ржавчина пшеницы (*P. striiformis*) также является экономически важным заболеванием, приводящем к существенным производственным потерям урожая [1; 17; 18]. Наиболее благоприятным для развития заболевания является прохладный климат, однако желтая ржавчина распространена на всех континентах и встречается во всех зерносеющих регионах мира [19; 20]. По данным Beddow с соавторами [21], более 80 % мирового производства зерна находится под угрозой заражения желтой ржавчиной, а ежегодный ущерб от данного заболевания оценивается более чем в один млрд. долларов США. В России патоген исторически регистрировался в основном на Северном Кавказе [22].

Бурая ржавчина (*P. triticina*) представляет собой потенциальный риск для производства пшеницы во всем мире [23]. Появление новых рас с повышенной вирулентностью представляет дополнительный риск для производства пшеницы. Известны различные расы этого патогена, вызывающие серьезные потери урожая [24]. В Азии потенциальные площади поражения бурой и желтой ржавчиной могут составлять 60 (63 %) и 43 (46 %) миллионов гектаров соответственно, при выращивании восприимчивых сортов [25]. Потери

урожая при благоприятных условиях и высокой степени развития заболевания составляют более 40 % [26].

Использование устойчивых сортов является самым экономически выгодным и экологически безопасным методом борьбы с ржавчиной. Для эффективной селекции сортов, устойчивых к ржавчинным заболеваниям, большое значение имеют источники устойчивости, обеспечивающие эффективную и длительную защиту культуры от патогенов [1; 27]. Вавилов Н.И. в своих исследованиях говорил о том, что наиболее надежными источниками следует считать диких сородичей культурных растений. Дикорастущие виды пшеницы часто обладают устойчивостью к ржавчинам и другим болезням и служат своего рода «банком» генетического разнообразия [28]. Коллекция генетических ресурсов пшеницы ВИР является ценнейшим пулом для селекции культуры по различным признакам [29]. Исследования коллекционных образцов с целью выявления устойчивости к ржавчинам для дальнейшего использования в селекции проводится во многих регионах. Например, в Омске изучили 103 образца пшеницы из 13 стран на предмет устойчивости к бурой ржавчине с целью дальнейшего использования полученных линий для селекции в Западно-Сибирском регионе [30]. Устойчивость к четырем болезням (бурая ржавчина, мучнистая роса, септориоз и гельминтоспориоз) была изучена у 174 образцов пшеницы четырех видов [31].

Цель наших исследований – изучить устойчивость к бурой, желтой и стеблевой ржавчинам образцов озимой и яровой пшеницы и озимой тритикале из коллекции ВИР и различных селекционных центров юга России в разные фазы онтогенеза и выявить новые источники с групповой устойчивостью к фитопатогенам.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Погодные условия. Погодные условия вегетационных сезонов 2016–2019 гг. (по данным метеостанции ФГБНУ ФНЦБЗР) представлены на рисунке 1.

Часть дождей и пониженный температурный режим в июне 2016 г. задерживали созревание озимых зерновых культур и создавали благоприятные условия для развития фитопатогенов. В июне 2017 и с апреля по июнь 2018 гг. отмечен недобор осадков. Сочетание высоких температур со значительным недостатком влаги в почве привело к ускоренному созреванию озимых и снижению развития ржавчинных болезней на естественном фоне. В 2019 году погодные условия сложились благоприятно для развития фитопатогенов на сельскохозяйственных культурах.

Материалом исследования являлись северокавказские популяции возбудителей желтой, бурой и стеблевой ржавчины, полученные путем сбора пораженных листьев во время ежегодных маршрутных обследований производственных и селекционных посевов озимой пшеницы на территории Краснодарского края, Ставропольского края и Ростовской области. Смесь пораженных листьев каждой из ржавчин приживлялась на восприимчивом сорте. Для бурой ржавчины использовали сорт Мичиган Амбер, для желтой ржавчины – сорт Kaw, для стеблевой ржавчины – сорт Гелиос. Объектом исследования являлись 158 сортообразцов пшеницы и тритикале из коллекции ВИР им. Н. И. Вавилова и селекционных центров России, в том числе 57 образцов из Федераль-

ного государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР), 46 сортов и линий от Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской» (ФГБНУ «АНЦ «Донской»), 14 сортов озимой пшеницы и 6 сортов озимой тритикале селекции Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко» (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»), 15 сортов и линий селекции Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-

Кавказский федеральный научный аграрный центр» (ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»), 2 сорта озимой пшеницы, 5 линий и 10 сортов озимой тритикале селекции Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (ФГБНУ ФРАНЦ). Сортообразцы пшеницы и тритикале в полевых условиях были оценены на устойчивость к трем ржавчинам в течение 2016–2019 гг. на искусственном инфекционном фоне. Отобранные в результате скрининга на устойчивость в полевых условиях образцы были оценены на устойчивость к ржавчинам в ювенильную фазу.

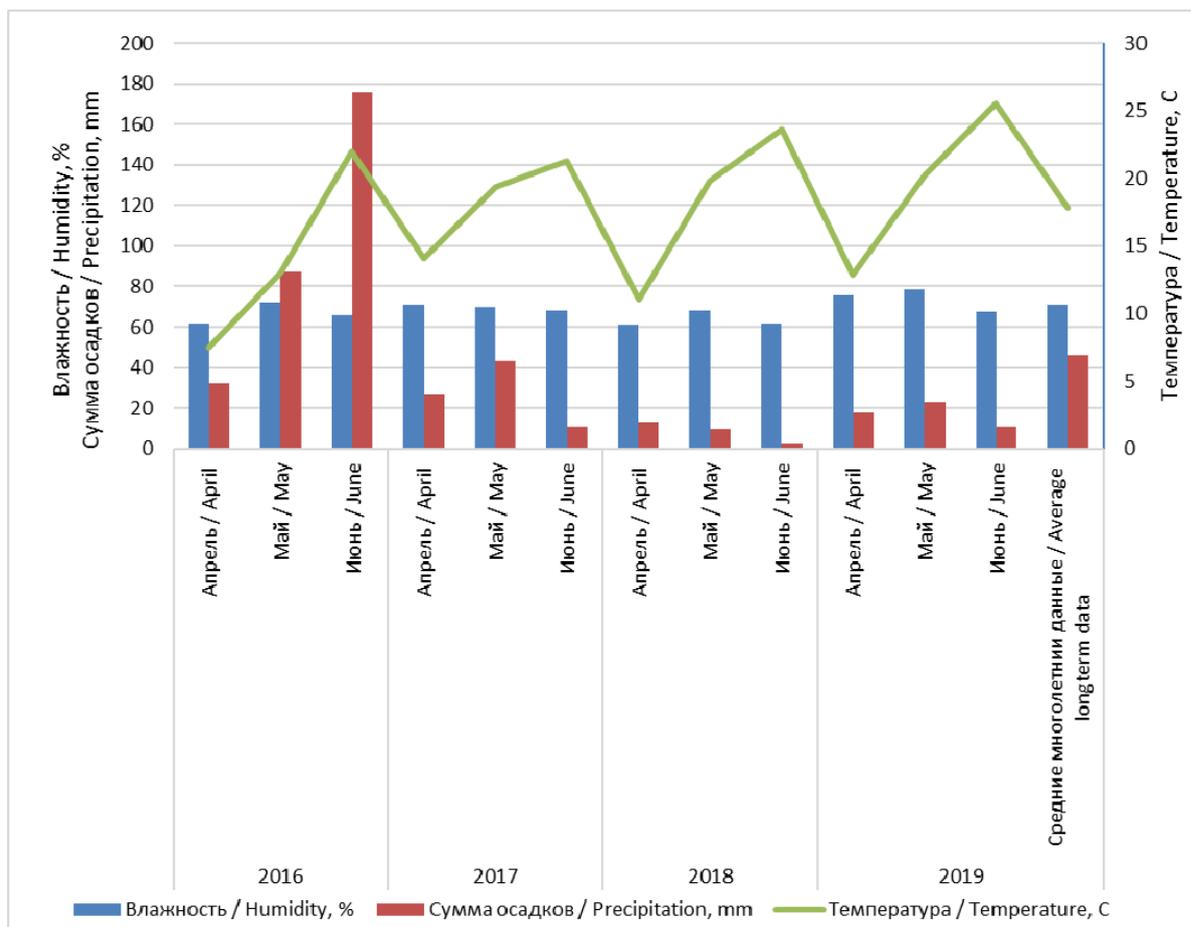


Рисунок 1. Погодные условия вегетационных сезонов 2016–2019 гг. (по данным метеостанции ФГБНУ ФНЦБЗР)

Figure 1. Weather conditions of the growing seasons 2016–2019 (according to the weather station of the Federal Research Centre of Biological Plant Protection)

Оценка устойчивости к ржавчинам во взрослом состоянии проводилась на полевом стационаре ФГБНУ ФНЦБЗР в условиях искусственного инфекционного фона. Исследуемые сортообразцы высевали на делянках площадью 1 м². Через каждые 10 делянок высевали восприимчивый сорт, служивший накопителем инфекции. Восприимчивые сорта для каждого патогена смотрите выше. Инокуляцию растений проводили весной в фазы GS32-GS37 по Задоксу [32] при температуре 10–15°C (для желтой ржавчины), +18 +20°C (для бурой ржавчины) и +20 +25°C (для стеблевой ржавчины). Для внедрения патогена продолжительность влажного периода составляла не менее 6 часов. Для создания инфекционного фона ржавчин пшеницы в полевых условиях использовали смесь урединиоспор с тальком в соотношении 1:100

при нагрузке 10 мг спор/м² и 5 мг спор/м² для стеблевой ржавчины [33]. Участок инфекционного фона каждого патогена находился в необходимой для проведения исследования пространственной изоляции.

Иммунологическую оценку сортов проводили в период максимального развития болезни, в конце мая – начале июня в фазы развития пшеницы GS71-GS77. Тип поражения и степень развития патогенов проводили по методике, разработанной СИММУТ [34]. При этом для бурой и стеблевой ржавчин использовали следующую шкалу: 0 – заболевание отсутствует; R – мелкие урединии с некрозом; MR – умеренный размер урединий с некрозом; MS – умеренный размер урединий с хлорозом; S – крупные урединии. Для желтой ржавчины использовали общепринятую четырех балльную шкалу [35].

Оценка устойчивости к ржавчинам в ювенильной стадии. Инфекционный материал каждого патогена размножали в условиях тепличного комплекса ФГБНУ ФНЦБЗР на восприимчивых сортах (Мичиган Амбер – бурая ржавчина, Kaw – желтая ржавчина и Гелиос – стеблевая ржавчина) в необходимом количестве.

Семена каждого образца предварительно замачивали в течение 24 часов, затем высевали по 5 растений в 25 мл вазон на гидропонике. Растения в фазе одного листа инокулировали смесью спор популяций каждого патогена. Зараженные растения помещали во влажную камеру на 12–16 часов, при температуре 13–16°C для желтой и 16–18°C для бурой и стеблевой ржавчин. Затем образцы выращивали в климатических камерах BINDER KBF 720. Для желтой ржавчины была установлена температура в пределах 15–18°C, для бурой ржавчины пшеницы – 18–20°C, для стеблевой – 20–25°C, влажность для всех патогенов составляла 60–80 %, интенсивность освещения – 15 тыс. лк. [36]. На 10–14-й день фиксировали инфекционные типы для каждого патогена в соответствии с их шкалами. Для желтой ржавчины использовали шкалу Гасснера и Штрайба [37], для бурой – Майнса и

Джексона [38] и для стеблевой Стекмана и Левина [39]. Сорта с типом реакций I, 0, 1 и 2 балла, считали устойчивыми, а 3 и 4 – восприимчивыми.

В исследованиях использована материально-техническая база УНУ «Фитотрон для выделения, идентификации, изучения и поддержания рас, штаммов, фенотипов патогенов» (<https://skprf.ru/usu/671925/>) и объекты БРК ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов».

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях поля и камеры искусственного климата на искусственном инфекционном фоне к трем ржавчинам было оценено 158 образцов озимой и яровой пшеницы и озимой тритикале различной селекции. В полевых условиях к бурой ржавчине большинство образцов (151) показали устойчивую реакцию, хотя восприимчивый сорт Michigan amber был поражен на 80 %. К желтой и стеблевой ржавчинам найдено 110 и 113 устойчивых образцов соответственно. На рисунке 2 показаны сводные данные по групповой устойчивости сортообразцов к трем ржавчинам в полевых условиях.

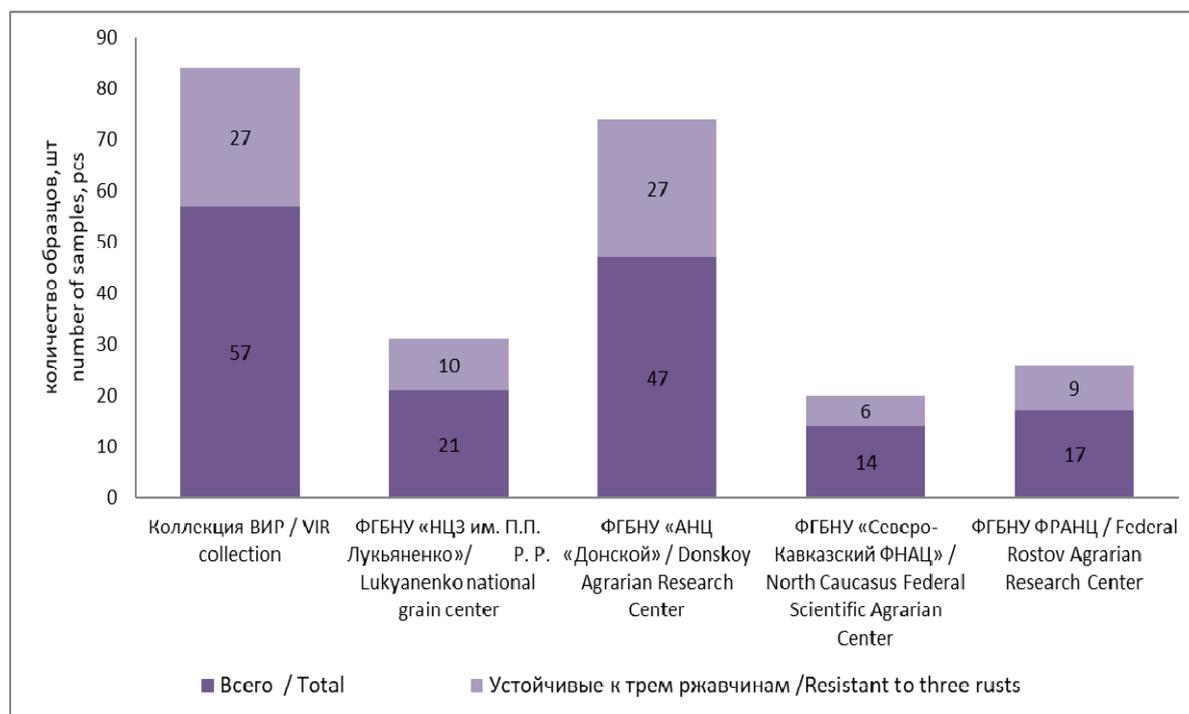


Рисунок 2. Количество устойчивых образцов пшеницы и тритикале во взрослую фазу к *P. tritricina*, *P. striiformis* и *P. graminis* (полевой стационар ФГБНУ ФНЦБЗР, 2016–2019 гг.)

Figure 2. Number of wheat and triticale samples in the adult stage resistant to *P. tritricina*, *P. striiformis* and *P. graminis* (field site of the FRSBPP, 2016–2019)

Основное количество образцов с групповой устойчивостью к трем ржавчинам в полевых условиях принадлежит линиям из коллекции ВИР и ФГБНУ «АНЦ «Донской», за исключением двух сортов селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Находка, Краса Дона). Из десяти сортов с групповой устойчивостью селекции ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко», пять относятся к озимой тритикале (Дозор, Жнец, Князь, Сват, Хлебоборб), пять – сорта озимой мягкой пшеницы (Баграт, Еремеевна, Кавалерка, Ласка, Морозко, Ольхон). Из 14 образцов селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», групповой устойчивостью обладают шесть: четыре линии (19281, 19207, 101/09, 136/09) и

два сорта (Анисимовка и Одиссея). Из 17 образцов селекции ФГБНУ ФРАНЦ групповая устойчивость отмечена у девяти, семь из которых – озимая тритикале (сорта Атаман Платов, Донслав, Зимогор, Капрал, Корнет, Легион, Сколот), а также две линии (896/14, 2866/13). По данным Е. И. Гультевой [40], сорт Баграт содержит гены *Lr26*, *Lr10*, *Lr1*; сорт Ольхон – *Lr26*, Краса Дона – *Lr1*, Находка – *Lr34*. По данным фитотеста [41], в сорте Ольхон также постулированы гены *Lr18* и *Lr2b*, а в сорте Еремеевна – *Lr10* и *Lr26*. Гены *Lr26*, *Lr10*, *Lr1* являются неэффективными для северокавказской популяции *P. tritricina*, а частота вирулентных изолятов к *Lr18* в последние годы существенно возросла [42]. В

коллекционных образцах Фируза 40, Омская Юбилейная присутствует ген возрастной устойчивости *Lr34*, распространенный в российских сортах [40]. В сорте Лебедушка, показавшем устойчивость в фазу взрослых растений к бурой и желтой ржавчине, идентифицирован ген *Sr25* [43], неэффективный против северокавказской популяции стеблевой ржавчины.

В результате изучения устойчивости в ювенильную фазу установлено, что большинство образцов пшеницы и тритикале устойчивы к бурой и стеблевой ржавчинам (102 и 111 устойчивых образцов соответственно). Что касается желтой ржавчины, то из 158 изучаемых образцов устойчивыми оказалось только 44. Групповая устойчивость в ювенильную фазу ко всем

патогенам установлена у 26 образцов (табл. 1). Следует отметить, что источники с групповой устойчивостью в ювенильную фазу – в основном образцы из коллекции ВИР, линии из ФГБНУ «АНЦ «Донской» и сорта озимой тритикале. Исключением является сорт Кавалерка селекции ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко». По данным литературы, в сорте Кавалерка с помощью молекулярных маркеров идентифицированы неэффективные гены ювенильной устойчивости *Lr1*, *Lr10* [44]. Данный сорт является перспективным источником групповой устойчивости к ржавчинам, и нуждается в дополнительном изучении с расширенным набором маркеров.

Таблица 1. Устойчивость образцов пшеницы и тритикале к бурой, желтой и стеблевой ржавчинам (камера искусственного климата ФГБНУ ФНЦБЗР, 2019 г.)

Table 1. Resistance of wheat and triticale samples to leaf, yellow and stem rusts (climate chamber of the Federal Research Centre of Biological Plant Protection, 2019)

Сорт, линия Variety, line	Оригинатор Originator	Тип реакции растений, балл Type of plant response		
		Бурая ржавчина Leaf rust	Стеблевая ржавчина Stem rust	Желтая ржавчина Yellow rust
Samgau (к-65823)		0	2	0
Тулайковская Надежда (к-65827) Tulajkovskaya Nadezhda (к-65827)		0	2	0
Проза (к-65070) Proza (к-65070)	Коллекция генетических ресурсов ВИР VIR genetic resources collection	0	0	0
KS 91 WGRC11 (к-65615)		1	1	0
PHRSV-03 (к-65152)		0	0;	2
Кавалерка Kavalerka		2+	0	0
Дозор (тритикале) Dozor (triticale)	ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» P.P. Lukyanenko National Grain Centre	2	2	0
Князь (тритикале) Knyaz (triticale)		2	0	0
Сват (тритикале) Svat (triticale)		0;	0	0
110/11		0	0	2
386/13		1	0	2
876 (Кэпхорн) 876 (Kerphorn)		1	1	0
874 (Самурай) 874 (Samuraj)	ФГБНУ «АНЦ «Донской» Donskoy Agrarian Research Centre	1	0	0
3554/14		0;	1	0
3354/13		0	1	0
658/15		0;	1	0
2969/13		2	2	0

Атаман Платов (тритикале) Ataman Platov (triticale)		1	1	0
2866/13		2	0	0
Капрал (тритикале) Kapral (triticale)		0;	2	0
Легион (тритикале) Legion (triticale)		0	1	0
Зимогор (тритикале) Zimogor (triticale)	ФГБНУ ФРАНЦ Federal Rostov Agrarian Research Centre	0	1	0
2913/13		1	1	0
31209/12		0;	1	0
Алмаз (тритикале) Almaz (triticale)		0	2	0
Ацтек (тритикале) Actec (triticale)		0	1	0

Групповая устойчивость к трем ржавчинам в обе фазы выявлена у 22 образцов пшеницы и тритикале (табл. 2). Это пять образцов коллекции ВИР, три сорта озимой тритикале (Дозор, Князь, Сват) селекции ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко», сорт озимой пшеницы Кавалерка того же оригинатора, девять линий от ФГБНУ «АНЦ

«Донской» и ФГБНУ ФРАНЦ, и четыре сорта озимой тритикале (Атаман Платов, Зимогор, Капрал, Легион) селекции ФГБНУ ФРАНЦ. Данные линии и сорта пшеницы и тритикале являются перспективными источниками групповой устойчивости рекомендованы для селекции [45].

Таблица 2. Устойчивость образцов пшеницы и тритикале к бурой, желтой и стеблевой ржавчинам в разные фазы онтогенеза (полевой стационар, камера искусственного климата ФГБНУ ФНЦБЗР, 2016–2019 гг.)

Table 2. Resistance of wheat and triticale samples to leaf, yellow and stem rusts in different plant growth stages (field site, greenhouse of the Federal Research Centre of Biological Plant Protection, 2016–2019)

Сорт, линия Variety, line	Оригинатор Originator	Бурая ржавчина Leaf rust		Стеблевая ржавчина Stem rust		Желтая ржавчина Yellow rust	
		Тип реакции, балл Type of plant response	Развитие болезни Disease development (CYMMIT)	Тип реакции, балл Type of plant response	Развитие болезни Disease development (CYMMIT)	Тип реакции, балл Type of plant response	Развитие болезни Disease development (CYMMIT)
Проза (к-65070) Proza (к-65070)		0	0	0	0	0	1R
PHRSV-03 (к-65152)		0	1R	0;	1R	2	5R
KS 91 WGRC11 (к-65615)	Коллекция генетических ресурсов ВИР VIR genetic resources collection	1	0	1	5MR	0	10MR
Samgau (к-65823)		0	0	2	0	0	0
Тулайковская Надежда (к-65827) Tulajkovskaya Nadezhda (к-65827)		0	10MR	2	0	0	1R
Кавалерка	ФГБНУ НЦЗ	2+	5MR	0	10MR	0	10MR

Кавалерка Дозор (тритикале) Dozor (triticale)	имени П.П. Лукьяненко Р.Р. Lukyanenko National Grain Centre	3	5R	2	1R	0	0
Князь (тритикале) Knyaz (triticale)		2	1R	0	5R	0	0
Сват (тритикале) Svat (triticale)		0;	1R	0	5R	0	0
110/11		0	1MR	0	1R	2	1R
386/13		1	5MR	0	1R	2	1R
876 (Кэпхорн) 876 (Kerhorn)	ФГБНУ АНЦ «Донской» Donskoy	1	5R	1	5R	0	0
874 (Самурай) 874 (Samuraj)	Agrarian Research Centre	1	5R	0	1R	0	1R
3554/14		0;	0	1	1R	0	1R
3354/13		0	0	1	0	0	1R
658/15		0;	0	1	10R	0	1R
2969/13		2	5R	2	10MR	0	1R
2866/13		2	5R	0	5R	0	1R
Атаман Платов (тритикале) Ataman Platov (triticale)		1	0	1	1R	0	0
Капрал (тритикале) Kapral (triticale)	ФГБНУ ФРАНЦ Federal Rostov Agrarian Research Centre	0;	0	2	1R	0	0
Легион (тритикале) Legion (triticale)		0	0	1	10R	0	0
Зимогор (тритикале) Zimogor (triticale)		0	0	1	1R	0	0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В течение 2016–2019 гг. в ювенильную фазу и фазу взрослых растений были изучены 158 образцов озимой и яровой пшеницы и озимой тритикале различной селекции на устойчивость к бурой, желтой и стеблевой ржавчинам. Выявлено, что в фазу взрослых растений большинство образцов проявляют устойчивость к трем патогенам (151 образец был устойчив к бурой ржавчине, 113 – к стеблевой ржавчине и 110 – к желтой ржавчине). Из них 79 образцов проявили групповую устойчивость к трем ржавчинам. В ювенильную фазу наибольшее количество образцов проявили устойчивость к бурой (102 образца) и стеблевой (111 образцов) ржавчинам, к желтой ржавчине устойчивыми были 44 образца. Групповая устойчивость к трем ржавчинам в ювенильную фазу была выявлена у 26 образцов. У 22 образцов установлена устойчивость к бурой, желтой и стеблевой ржавчинам в обе фазы онтогенеза. Большинство из них представлено образцами из

коллекции ВИР, линиями селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» и сортами озимой тритикале селекции ФГБНУ «НЦЗ имени П.П. Лукьяненко» и ФГБНУ ФРАНЦ. Данные образцы рекомендованы как источники групповой устойчивости для селекции на иммунитет к ржавчинам.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность сотрудникам Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова», Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской», Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко», Федерального государственного бюджетного научного

учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» за предоставление семенного материала.

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0004.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the scientists of the Federal State Budgetary Scientific Institution, N.L. Vavilov Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources; the Federal State Budgetary Scientific Institution Donskoy Agrarian Scientific Centre; the Federal State Budgetary Scientific Institution PP. Lukyanenko National Grain Centre; the Federal State Budgetary Scientific Institution North Caucasus Federal Scientific Agrarian Centre; and the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Rostov Federal Agrarian Scientific Centre for providing seed material.

The research was carried out in accordance with the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of research on the topic No FGRN-2022-0004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Jambuthenne D.T., Riaz A., Athiyannan N., Alahmad S., Ng W.L., Ziems L., Afanasenko O., Periyannan S.K., Aitken E., Platz G., Godwin I. Mining the Vavilov wheat diversity panel for new sources of adult plant resistance to stripe rust // *Theoretical and Applied Genetics*. 2022. V. 135. N 4. P. 1355–1373. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04037-8>
- Mergoum M., Sapkota S., ElDoliefy A.E.A., Naraghi S.M., Pirseyedi S., Alamri M.S., AbuHamad W. Triticale (x *Triticosecale* Wittmack) Breeding // *Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals*. 2019. V. 5. P. 405–451. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23108-8_11
- Kwiatk M.T., Noweiska A., Bobrowska R., Czapiewska A., Aygün M., Munyamahoro F.D.A., Mikołajczyk S., Tomkowiak A., Kurasiak-Popowska D., Poślednik P. Novel Tetraploid Triticale (Einkorn Wheat x Rye) – A Source of Stem Rust Resistance // *Plants*. 2023. V. 12(2). P. 278. <https://doi.org/10.3390/plants12020278>
- Волкова Г.В., Кудинова О.А., Ким Ю.С., Агапова В.Д., Ваганова О.Ф. Иммунологическая оценка сортов озимой тритикале к *Pyrenophora tritici-repentis* и *Puccinia triticina* в условиях юга России // *Достижение науки и техники АПК*. 2023. Т. 37. N 5. С. 39–44. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_5_0
- Калмыш А.П., Ковтуненко В.Я., Панченко В.В. Роль озимой тритикале в сохранении и улучшении экологического состояния агрофитоценозов и снижении пестицидной нагрузки на здоровье человека (обзор) // *Аграрная Россия*. 2023. N 2. С. 8–15. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2023-2-8-15>
- Матвеева И.П., Ким Ю.С., Ваганова О.Ф., Мирошниченко О.О., Кремнева О.Ю., Волкова Г.В. Устойчивость широко районированных сортов озимой пшеницы различной селекции к эпифитотийно опасным заболеваниям: бурой, желтой, стеблевой ржавчине и желтой пятнистости листьев пшеницы в Краснодарском крае // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2018. N 12–2(78). С. 40–44. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.78.12.044>
- Wellings C.R. Global status of stripe rust: a review of historical and current threats // *Euphytica*. 2011. V. 179(1). P. 129–141. <http://dx.doi.org/10.1007/s10681-011-0360-y>
- Айнур М.К. Фитопатологическая оценка влияния желтой ржавчины на генотипы мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Азербайджанского происхождения // *Аграрный научный журнал*. 2023. N 5. С. 16–23. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i5pp16-23>
- Prank M., Kenaley S.C., Bergstrom G.C., Acevedo M., Mahowald N.M. Climate change impacts the spread potential of wheat stem rust, a significant crop disease // *Environmental Research Letters*. 2019. V. 14. N 12. Article ID: 124053. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab57de>
- Soko T., Bender C.M., Pretorius Z.A. Yield Loss Associated with Different Levels of Stem Rust Resistance in Bread Wheat // *Plant Disease*. 2018. N 102(12). P. 2531–2538. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-18-0307-RE>
- Жуковский А.Г., Крупенько Н.А. Изменение фитопатологической ситуации в посевах зерновых культур // *Наше сельское хозяйство*. 2020. N 5. С. 60–65.
- Шаманин В.П., Потоцкая И.В., Шепелев С.С., Пожерукова В.Е., Трущенко А.Ю., Чурсин А.С., Моргунов А.И. Оценка линий синтетической пшеницы (*Triticum durum/Aegilops tauschii*) по вегетационному периоду и устойчивости к болезням // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017. Т. 21. N 3. С. 347–353. <https://doi.org/10.18699/VJ17.252>
- Баранова О.А., Сибикеев С.Н., Конькова Э.А. Анализ устойчивости к стеблевой ржавчине и идентификация Sr-генов у интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023. Т. 184. N 1. С. 177–186. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-177-186>
- Беспалова Л.А., Аблова И.Б., Худокормова Ж.Н., Пузырная О.Ю., Набоков Г.Д., Агаева Е.В. Тархов А.С. Генетическая защищенность сортов озимой пшеницы от ржавчинных болезней // *Рисоводство*. 2019. N 4. С. 30–37.
- Лапочкина И.Ф., Баранова О.А., Гайнуллин Н.Р., Волкова Г.В., Гладкова Е.В., Ковалева Е.О., Осипова А.В. Создание линий озимой пшеницы с несколькими генами устойчивости к *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* для использования в селекционных программах России // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018. Т. 22. N 6. С. 676–684. <https://doi.org/10.18699/VJ18.410>
- Shamanin V.P., Pototskaya I.V., Shepelev S.S., Pozherukova V.E., Salina E.A., Skolotneva E.S., Hodson D., Hovmøller M., Patpour M., Morgounov A.I. Stem rust in Western Siberia – race composition and effective resistance genes // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020. N 24. P. 131–138. <https://doi.org/10.18699/VJ20.608>
- Rahmatov M., Rouse M.N., Steffenson B.J., Andersson S.C., Wanyera R., Pretorius Z.A., Houben A., Kumarse N., Bhavani S., Johansson E. Sources of stem rust resistance in wheat-alien introgression lines // *Plant Disease*. 2016. V. 100(6). P. 1101–1109. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-15-1448-RE>
- Ali S., Rodriguez-Algaba J., Thach T., Sørensen C.K., Hansen J.G., Lassen P., Nazari K., Hodson D.P., Justesen A.F., Hovmøller M.S. Yellow rust epidemics worldwide were caused by pathogen races from divergent genetic lineages // *Frontiers in Plant Science*. 2017. N 8. P. 1057. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01057>
- Hubbard A., Lewis C.M., Yoshida K., Ramirez-Gonzalez R.H., de Vallavieille-Pope C., Thomas J., Kamoun S., Bayles R., Uauy C., Saunders D.G. Field pathogenomics reveals the emergence of a diverse wheat yellow rust population // *Genome biology*. 2015. N 16. P. 1–15. <https://doi.org/10.1186/s13059-015-0590-8>
- Матвеева И.П., Волкова Г.В. Желтая ржавчина пшеницы. Распространение, вредоносность, меры борьбы (обзор) // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. N 2(46). С. 102–116. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-2-102-116
- Beddow J.M., Pardey P.G., Chai Y., Hurley T.M., Kriticos D.J., Braun H.J., Park R.F., Cuddy W.S., Yonow T. Research investment

- implications of shifts in the global geography of wheat stripe rust // *Nature Plants*. 2015. V. 1(10). P. 1–5. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.132>
22. Volkova G.V., Kudinova O.A., Matveeva I.P. Virulence and diversity of *Puccinia striiformis* in South Russia // *Phytopathologia Mediterranea*. 2021. V. 60(1). P. 119–127. DOI: 10.36253/phyto-12396.
23. Kumar K., Jan I., Saripalli G., Sharma P.K., Mir R.R., Balyan H.S., Gupta P.K. An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat // *Frontiers in Genetics*. 2022. N 13. Article ID: 816057. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.816057>
24. Hussain M., Khan M.A., Hussain M., Javed N., Khaliq I. Monitoring of rust virulence pattern through avirulence/virulence formula // *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 2016. N 48. P. 421–433. <https://doi.org/10.1080/03235408.2014.893635>
25. Ali Y., Khan M.A., Aatif H.M., Ijaz M., Atiq M., Bashair M., Mansha M.Z., Khan A.A., Hussain M. Quantification of leaf rust resistance source in wheat germplasm in relation to epidemiological factors // *Arab Journal of Plant Protection*. 2020. V. 38. N 4. P. 344–353. DOI:10.22268/AJPP-038.4.344353
26. Khan M.H., Bukhari A., Dar Z.A., Rizvi S.M., Status and strategies in breeding for rust resistance in wheat // *Agricultural Sciences*. 2013. V. 4(06). P. 292. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2013.46042>
27. Манукян И.Р., Абиева Т.С., Догузова Н.Н. Скрининг сортов озимой мягкой пшеницы российской и зарубежной селекции на устойчивость к бурой ржавчине в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа // *Аграрный научный журнал*. 2022. N 10. С. 55–61. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-1-4>
28. Евдокимов М.Г., Юсов В.С., Кирьякова М.Н., Мешкова Л.В., Пахотина И.В. Глушаков Д.А. Перспективные генетические источники для селекции яровой твердой пшеницы в Западной Сибири // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022. Т. 26. N 7. С. 609–621. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-75>
29. Митрофанова О.П. Генетические ресурсы пшеницы в России: состояние и предселекционное изучение // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014. Т. 16. N 1. С. 10–20.
30. Кашуба Ю.Н., Мешкова Л.В., Плотникова Л.Я. Источники устойчивости к бурой ржавчине озимой мягкой пшеницы из коллекции ВИР для Западной Сибири // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2019. N 7(148). С. 17–23.
31. Tyryshkin L.G., Lysenko N.S., Kolesova M.A. Effective Resistance to Four Fungal Foliar Diseases in Samples of Wild *Triticum L.* Species from the VIR (NI Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources) Collection: View from Vavilov's Concepts of Plant Immunity // *Plants*. 2022. V. 11. Iss. 24. P. 3467. <https://doi.org/10.3390/plants11243467>
32. Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F. A decimal code for the growth stages of cereals // *Weed research*. 1974. V. 14. N 6. P. 415–421.
33. Анпилогова Л.К., Волкова Г.В. Методы создания искусственных инфекционных фонов и оценки сортообразцов пшеницы на устойчивость к вредоносным болезням (фузариозу колоса, ржавчинам, мучнистой росе). Краснодар: РАСХН, ВНИИБЗР, 2000. 28 с.
34. Roelfs A.P., Singh R.P., Saari E.E. *Rust Diseases of Wheat: Concept and Methods of Disease Management*. Mexico: CIMMYT, 1992. 81 p.
35. Bariana H.S., McIntosh R.A. Cytogenetic studies in wheat XV. Location of rust resistance genes in VPM1 and their genetic linkage with other disease resistance genes in chromosome 2A // *Genome*. 1993. V. 36. N 3. P. 476–482. <https://doi.org/10.1139/g93-065>
36. Волкова Г.В., Кудинова О.А., Гладкова Е.В., Ваганова О.Ф., Данилова А.В., Матвеева И.П. Вирулентность популяций возбудителей ржавчины зерновых колосовых культур (учебное пособие). Краснодар, 2018. 38 с.
37. Gassner G., Straib W. Die Bestimmung der biologischen Rassen des Weizengelbrostes *Puccinia glumarum* f. sp. *tritici* Schmidt Erikss. u. Henn. 1932.
38. Mains E.B., Jackson H.C. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat: *Puccinia triticina* Erikss. // *Phytopathology*. 1926. V. 16. N 1. P. 89–120.
39. Stakman E.S., Levine M.N. The determination of biologic forms of *Puccinia graminis* on *Triticum* ssp. // *Minnesota Agricultural Experiment Station Technical Bulletin*. 1922. V. 8. P. 3–10.
40. Gulyaeva E., Shaydayuk E., Gannibal P. Leaf rust resistance genes in wheat cultivars registered in Russia and their influence on adaptation processes in pathogen populations // *Agriculture*. 2021. V. 11. N 4. P. 319. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040319>
41. Volkova G.V., Kudinova O.A., Vaganova O.F. Postulation of leaf rust resistance genes of 20 wheat cultivars in southern Russia // *Journal of Plant Protection Research*. 2020. V. 3. N 3. P. 225–232. DOI: 10.24425/jppr.2020.133951
42. Volkova G., Kudinova O., Vaganova O., Agapova V. Effectiveness of leaf rust resistance genes in the adult and juvenile stages in southern Russia in 2011–2020 // *Plants*. 2022. V. 11. Iss. 6. P. 793. <https://doi.org/10.3390/plants11060793>
43. Baranova O., Solyanikova V., Kyrova E., Kon'kova E., Gaponov S., Sergeev V., Shevchenko S., Mal'chikov P., Dolzhenko D., Bespalova L., Ablova I. Evaluation of Resistance to Stem Rust and Identification of Sr Genes in Russian Spring and Winter Wheat Cultivars in the Volga Region // *Agriculture*. 2023. V. 13. Iss. 3. P. 635. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030635>
44. Гультяева Е.И., Шайдаюк Е.Л. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у новых российских сортов мягкой пшеницы // *Биотехнология и селекция растений*. 2021. Т. 4. N 2. С. 15–27. <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-2-02>
45. Skowrońska R., Tomkowiak A., Nawracała J., Kwiatek M.T. Molecular identification of slow rusting resistance Lr46/Yr29 gene locus in selected triticale (\times *Triticosecale* Wittmack) cultivars // *Journal of Applied Genetics*. 2020. V. 61. N 3. P. 359–366. <https://doi.org/10.1007/s13353-020-00562-8>

REFERENCES

- Jambuthenne D.T., Riaz A., Athiyannan N., Alahmad S., Ng W.L., Ziems L., Afanasenko O., Periyannan S.K., Aitken E., Platz G., Godwin I. Mining the Vavilov wheat diversity panel for new sources of adult plant resistance to stripe rust. *Theoretical and Applied Genetics*, 2022. vol. 135, no. 4, pp. 1355–1373. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04037-8>
- Mergoum M., Sapkota S., ElDoliefy A.E.A., Naraghi S.M., Pirseyedi S., Alamri M.S., AbuHammad W. Triticale (\times *Triticosecale* Wittmack) Breeding. *Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals*, 2019, vol. 5. pp. 405–451. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23108-8_11
- Kwiatek M.T., Noweiska A., Bobrowska R., Czapiewska A., Aygün M., Munyamahoro F.D.A., Mikołajczyk S., Tomkowiak A., Kurasiak-Popowska D., Poślednik P. Novel Tetraploid Triticale (Einkorn Wheat \times Rye) - A Source of Stem Rust Resistance. *Plants*, 2023, vol. 12(2), p. 278. <https://doi.org/10.3390/plants12020278>
- Volkova G.V., Kudinova O.A., Kim Yu.S., Agapova V.D., Vaganova O.F. Immunological evaluation of winter triticale varieties to *Pyrenophora tritici-repentis* and *Puccinia triticina* under conditions of southern Russia. *Achievements of science and technology AIC*, 2023, vol. 37, no. 5, pp. 39–44. (In Russian) https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_5_0
- Kalmysh A.P., Kovtunenکو V.Ya., Panchenko V.V. The role of winter triticale in preserving and improving the ecological

- condition of agrophytocoenoses and reducing pesticide load on human health (review). *Agrarian Russia*, 2023, vol. 2, pp. 8–15. (In Russian) <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2023-2-8-15>
6. Matveeva I.P., Kim Yu.S., Vaganova O.F., Miroshnichenko O.O., Kremneva O.Yu., Volkova G.V. Resistance of widely distributed varieties of winter wheat of various breeding to epiphytotically dangerous diseases: leaf, yellow, stem rust and yellow leaf spot of wheat in the Krasnodar Territory. *International research journal*, 2018, no. 12–2(78), pp. 40–44. (In Russian) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.78.12.044>
7. Wellings C.R. Global status of stripe rust: a review of historical and current threats. *Euphytica*, 2011, vol. 179(1), pp. 129–141. <http://dx.doi.org/10.1007/s10681-011-0360-y>
8. Ainur M.K. Phytopathological assessment of the effect of yellow rust on the genotypes of common wheat (*Triticum aestivum* L.) of Azerbaijani origin. *Agrarian scientific journal*, 2023, no. 5, pp. 16–23. (In Russian) <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i5pp16-23>
9. Prank M., Kenaley S.C., Bergstrom G.C., Acevedo M., Mahowald N.M. Climate change impacts the spread potential of wheat stem rust, a significant crop disease. *Environmental Research Letters*, 2019, vol. 14, no. 12, article id: 124053. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab57de>
10. Soko T., Bender C.M., Pretorius Z.A. Yield Loss Associated with Different Levels of Stem Rust Resistance in Bread Wheat. *Plant Disease*, 2018, no. 102(12), pp. 2531–2538. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-18-0307-RE>
11. Zhukovskii A.G., Krupen'ko N.A. Changes in the phytopathological situation in grain crops. *Nashe sel'skoe hozyaistvo* [Our agriculture]. 2020, no. 5, pp. 60–65. (In Russian)
12. Shamanin V.P., Potockaya I.V., Shepelev S.S., Pozherukova V.E., Trushhenko A.Ju., Chursin A.S., Morgunov A.I. Evaluation of synthetic wheat lines (*Triticum durum*/*Aegilops tauschii*) by vegetation period and disease resistance. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2017, vol. 21, no. 3, pp. 347–353. (In Russian) <https://doi.org/10.18699/VJ17.252>
13. Baranova O.A., Sibikeev S.N., Kon'kova E.A. Analysis of Stem Rust Resistance and Identification of Sr Genes in Introgressive Lines of Spring Common Wheat. In: *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii* [Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding]. 2023, vol. 184, no. 1, pp. 177–186. (In Russian) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-177-186>
14. Bepalova L.A., Ablova I.B., Hudokormova Zh.N., Puzyrnaya O.Yu., Nabokov G.D., Agaeva E.V., Tarhov A.S. Genetic protection of winter wheat varieties from rust diseases. *Risovodstvo* [Rice growing]. 2019, no. 4, pp. 30–37. (In Russian)
15. Lapochkina I.F., Baranova O.A., Gainullin N.R., Volkova G.V., Gladkova E.V., Kovaleva E.O., Osipova A.V. Creation of lines of winter wheat with several resistance genes to *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* for use in Russian breeding programs. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 676–684. (In Russian) <https://doi.org/10.18699/VJ18.410>
16. Shamanin V.P., Pototskaya I.V., Shepelev S.S., Pozherukova V.E., Salina E.A., Skolotneva E.S., Hodson D., Hovmøller M., Patpour M., Morgounov A.I. Stem rust in Western Siberia – race composition and effective resistance genes. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2020, no. 24, pp. 131–138. <https://doi.org/10.18699/VJ20.608>
17. Rahmatov M., Rouse M.N., Steffenson B.J., Andersson S.C., Wanyera R., Pretorius Z.A., Houben A., Kumarse N., Bhavani S., Johansson E. Sources of stem rust resistance in wheat-alien introgression lines. *Plant Disease*, 2016, vol. 100(6), pp. 1101–1109. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-15-1448-RE>
18. Ali S., Rodriguez-Algaba J., Thach T., Sørensen C.K., Hansen J.G., Lassen P., Nazari K., Hodson D.P., Justesen A.F., Hovmøller M.S. Yellow rust epidemics worldwide were caused by pathogen races from divergent genetic lineages. *Frontiers in Plant Science*, 2017, no. 8, pp. 1057. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01057>
19. Hubbard A., Lewis C.M., Yoshida K., Ramirez-Gonzalez R.H., de Vallavieille-Pope C., Thomas J., Kamoun S., Bayles R., Uauy C., Saunders D.G. Field pathogenomics reveals the emergence of a diverse wheat yellow rust population. *Genome biology*, 2015, no. 16, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1186/s13059-015-0590-8>
20. Matveeva I.P., Volkova G.V. Yellow rust of wheat. Distribution, harmfulness, control measures (review). *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2019, no. 2(46), pp. 102–116. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-2-102-116
21. Beddow J.M., Pardey P.G., Chai Y., Hurley T.M., Kriticos D.J., Braun H.J., Park R.F., Cuddy W.S., Yonow T. Research investment implications of shifts in the global geography of wheat stripe rust. *Nature Plants*, 2015, vol. 1(10), pp. 1–5. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.132>
22. Volkova G.V., Kudina O.A., Matveeva I.P. Virulence and diversity of *Puccinia striiformis* in South Russia. *Phytopathologia Mediterranea*, 2021, vol. 60(1), pp. 119–127. DOI: 10.36253/phyto-12396
23. Kumar K., Jan I., Saripalli G., Sharma P.K., Mir R.R., Balyan H.S., Gupta P.K. An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat. *Frontiers in Genetics*, 2022, no. 13, article id: 816057. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.816057>
24. Hussain M., Khan M.A., Hussain M., Javed N., Khaliq I. Monitoring of rust virulence pattern through avirulence/virulence formula. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 2016, no. 48, pp. 421–433. <https://doi.org/10.1080/03235408.2014.89363>
25. Ali Y., Khan M.A., Aatif H.M., Ijaz M., Atiq M., Bashair M., Mansha M.Z., Khan A.A., Hussain M. Quantification of leaf rust resistance source in wheat germplasm in relation to epidemiological factors. *Arab Journal of Plant Protection*, 2020, vol. 38, no. 4, pp. 344–353. DOI: 10.22268/AJPP-038.4.344353
26. Khan M.H., Bukhari A., Dar Z.A., Rizvi S.M., Status and strategies in breeding for rust resistance in wheat. *Agricultural Sciences*, 2013, vol. 4(06), p. 292. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2013.46042>
27. Manukyan I.R., Abieva T.S., Doguzova N.N. Screening of varieties of winter soft wheat of Russian and foreign breeding for resistance to leaf rust in the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus. *Agrarian scientific journal*, 2022, no. 10, pp. 55–61. (In Russian) <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-1-4>
28. Evdokimov M.G., Yusov V.S., Kir'yakova M.N., Meshkova L.V., Pahotina I.V., Glushakov D.A. Promising genetic sources for the breeding of spring durum wheat in Western Siberia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2022, vol. 26, no. 7, pp. 609–621. (In Russian) <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-75>
29. Mitrofanova O.P. Wheat genetic resources in Russia: status and pre-breeding study. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilov Journal of Genetics and Breeding]. 2014, vol. 16, no. 1, pp. 10–20. (In Russian)
30. Kashuba Yu.N., Meshkova L.V., Plotnikova L.Ya. Sources of resistance to leaf rust of winter soft wheat from the VIR collection for Western Siberia. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University]. 2019, no. 7(148), pp. 17–23. (In Russian)
31. Tyryshkin L.G., Lysenko N.S., Kolesova M.A. Effective Resistance to Four Fungal Foliar Diseases in Samples of Wild *Triticum* L. Species from the VIR (NI Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources) Collection: View from Vavilov's Concepts of Plant Immunity. *Plants*, 2022, vol. 11, iss. 24, p. 3467. <https://doi.org/10.3390/plants11243467>
32. Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*. 1974, vol. 14, no. 6, pp. 415–421.
33. Anpilogova L.K., Volkova G.V. *Metody sozdaniya iskusstvennykh infektsionnykh fonov i otsenki sortoobraztsov*

pshenitsy na ustoichivost' k vredonosnym boleznyam (fuzariozu kolosa, rzhavchinam, muchnistoi rose). Rekomendatsii [Methods of creating artificial infection backgrounds and evaluation of wheat varieties for resistance to harmful diseases (ear fusarium, rusts, powdery mildew). Recommendations]. Krasnodar, VNIIBZR Publ., 2000, 28 p. (In Russian)

34. Roelfs A.P., Singh R.P., Saari E.E. Rust Diseases of Wheat: Concept and Methods of Disease Management. Mexico, CIMMYT Publ., 1992, 81 p.
35. Bariana H.S., McIntosh R.A. Cytogenetic studies in wheat XV. Location of rust resistance genes in VPM1 and their genetic linkage with other disease resistance genes in chromosome 2A. *Genome*, 1993, vol. 36, no. 3, pp. 476–482. <https://doi.org/10.1139/g93-065>
36. Volkova G.V., Kudina O.A., Gladkova E.V., Vaganova O.F., Danilova A.V., Matveeva I.P. *Virulentnost' populyatsii vzbuditelei rzhavchiny zernovykh kolosovykh kul'tur (uchebnoe posobie)* [Virulence of populations of cereal rust pathogens (tutorial)]. Krasnodar, IP Dedkova S.A. Publ., 2018, 38 p. (In Russian)
37. Gassner G., Straib W. Die Bestimmung der biologischen Rassen des Weizengelbrostes *Puccinia glumarum* f. sp. *tritici* Schmidt Erikss. u. Henn. 1932.
38. Mains E.B., Jackson H.C. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat: *Puccinia triticina* Erikss. *Phytopathology*, 1926, vol. 16, no. 1, pp. 89–120.
39. Stakman E.S., Levine M.N. The determination of biologic forms of *Puccinia graminis* on *Triticum* ssp. Minnesota Agricultural Experiment Station Technical Bulletin. 1922, vol. 8, pp. 3–10.

40. Gulyaeva E., Shaydayuk E., Gannibal P. Leaf rust resistance genes in wheat cultivars registered in Russia and their influence on adaptation processes in pathogen populations. *Agriculture*, 2021, vol. 11, no. 4, p. 319. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040319>
41. Volkova G.V., Kudina O.A., Vaganova O.F. Postulation of leaf rust resistance genes of 20 wheat cultivars in southern Russia. *Journal of Plant Protection Research*, 2020, vol. 3, no. 3, pp. 225–232. DOI: 10.24425/jppr.2020.133951
42. Volkova G., Kudina O., Vaganova O., Agapova V. Effectiveness of leaf rust resistance genes in the adult and juvenile stages in southern Russia in 2011–2020. *Plants*, 2022, vol. 11, iss. 6, p. 793. <https://doi.org/10.3390/plants11060793>
43. Baranova O., Solyanikova V., Kyrova E., Kon'kova E., Gaponov S., Sergeev V., Shevchenko S., Mal'chikov P., Dolzhenko D., Bespalova L., Ablova I. Evaluation of Resistance to Stem Rust and Identification of Sr Genes in Russian Spring and Winter Wheat Cultivars in the Volga Region. *Agriculture*, 2023, vol. 13, no. 3, p. 635. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030635>
44. Gul'tyaeva E.I., Shaidayuk E.L. Identification of leaf rust resistance genes in new Russian soft wheat varieties. *Biotechnology and plant breeding*, 2021, vol. 4, no. 2, pp. 15–27. (In Russian) <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-2-o2>
45. Skowrońska R., Tomkowiak A., Nawracała J., Kwiatek M.T. Molecular identification of slow rusting resistance Lr46/Yr29 gene locus in selected triticales (× *Triticosecale* Wittmack) cultivars. *Journal of Applied Genetics*, 2020, vol. 61, no. 3, pp. 359–366. <https://doi.org/10.1007/s13353-020-00562-8>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ольга А. Кудинова, Ольга А. Ваганова, Валерия Д. Агапова, Екатерина В. Гладкова, Олеся О. Игнатьева, Ирина П. Матвеева участвовали в сборе и анализе материала, написании работы. Галина В. Волкова корректировала рукопись до подачи в редакцию. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga A. Kudina, Olga A. Vaganova, Valeriya D. Agapova, Ekaterina V. Gladkova, Olesya O. Ignatieva and Irina P. Matveeva participated in collecting and analysing the material and writing the paper. Galina V. Volkova corrected the manuscript for submission to the Editor. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Галина В. Волкова / Galina V. Volkova <https://orcid.org/0000-0002-3696-2610>
 Ольга А. Кудинова / Olga A. Kudina <https://orcid.org/0000-0002-0568-4312>
 Олеся О. Игнатьева / Olesya O. Ignatieva <https://orcid.org/0000-0002-6584-9553>
 Валерия Д. Агапова / Valeriya D. Agapova <https://orcid.org/0000-0002-7296-3565>
 Екатерина В. Гладкова / Ekaterina V. Gladkova <https://orcid.org/0000-0002-2232-0764>
 Ольга Ф. Ваганова / Olga F. Vaganova <https://orcid.org/0000-0003-2345-2643>
 Ирина П. Матвеева / Irina P. Matveeva <https://orcid.org/0000-0002-8696-5350>