

РАЗНООБРАЗИЕ ВОЗБУДИТЕЛЯ ЖЕЛТОЙ РЖАВЧИНЫ ПО ВИРУЛЕНТНОСТИ НА СОРТАХ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

Е. И. Гультяева¹, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микологии и фитопатологии, eigulyaeva@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7948-0307;

Л. А. Беспалова², доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заведующая отделом селекции и семеноводства пшеницы и тритикале, bespalova_l_a@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0245-7835;

И. Б. Аблова², доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заведующая лабораторией селекции на устойчивость к болезням отдела селекции и семеноводства пшеницы и тритикале, ablova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-3454-9988;

Е. Л. Шайдаюк¹, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории микологии и фитопатологии, eshaydayuk@bk.ru, ORCID ID: 0000-0003-3266-6272;

Ю. Г. Левченко², кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции на устойчивость к болезням отдела селекции и семеноводства пшеницы и тритикале, levchenko_j@mail.ru, ORCID ID: 0009-0002-4605-6942

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», 196608, г. Санкт-Петербург, в. Пушкин, ш. Подбельского, д. 3; e-mail: info@vizr.spb.ru;

²ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П. П. Лукьяненко», 350012, г. Краснодар, Центральная усадьба КНИИСХ; e-mail: kniish@kniish.ru

Желтая ржавчина (возбудитель *Puccinia striiformis* West.) – экономически значимое заболевание пшеницы на Северном Кавказе, вредоносность которого нарастает в последнее десятилетие. Информация об эффективности генов устойчивости и расовом составе патогена необходима для успешной генетической защиты пшеницы. Цель данных исследований – охарактеризовать вирулентность и расовый состав *P. striiformis* на генетически разнообразных сортах озимой мягкой пшеницы, возделываемых в Краснодарском крае. Объектом исследования служили листья с урединопустулами *P. striiformis*, собранные в Краснодарском крае в 2021–2024 гг. с 16 сортов озимой мягкой пшеницы селекции НЦЗ им. П. П. Лукьяненко. Всего получено 53 монопустульных изолята. Вирулентность оценивали с использованием 29 тестеров вирулентности: 14 изогенных линий сорта Avocet (AvNIL) и 15 сортов-дифференциаторов. Высокой эффективностью в регионе характеризовались гены Yr5, Yr10, Yr15, Yr24 и Yr26, и они рекомендуются для селекции на устойчивость к желтой ржавчине. 16 фенотипов (рас) определено в изученной коллекции изолятов *P. striiformis* при тестировании на полном наборе из 29 дифференциаторов и 10 рас на 15 международных сортах-дифференциаторах. Для большинства сортов определено поражение оригинальным фенотипом, что обуславливает повышенное разнообразие краснодарской популяции *P. striiformis*. При этом анализ генетических расстояний между фенотипами вирулентности не выявил существенных различий между ними, что предполагает существование единой клональной популяции патогена на данной территории. Высокий эволюционный потенциал *P. striiformis* обуславливает проведение ежегодного мониторинга вирулентности и расового состава популяции патогена и поиск новых эффективных доноров устойчивости для использования в селекции на устойчивость к желтой ржавчине.

Ключевые слова: вирулентность, Yr-гены, *Puccinia striiformis* f. sp. tritici, *Triticum aestivum*.

Для цитирования: Гультяева Е. И., Беспалова Л. А., Аблова И. Б., Шайдаюк Е. Л., Левченко Ю. Г. Разнообразие возбудителя желтой ржавчины по вирулентности на сортах озимой мягкой пшеницы в Краснодарском крае // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 97–104. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-97-104.



VARIABILITY OF YELLOW RUST PATHOGEN ACCORDING TO VIRULENCE ON WINTER COMMON WHEAT VARIETIES IN KRASNODAR TERRITORY

E. I. Gulyaeva¹, Doctor of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for mycology and phytopathology, eigulyaeva@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7948-0307;

L. A. Bespalova², Doctor of Agricultural Sciences, academician of RAS, head of the department of wheat and triticale breeding and seed production, bespalova_l_a@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0245-7835;

I. B. Ablova², Doctor of Agricultural Sciences, academician of RAS, head of the laboratory for breeding on disease resistance in the department of wheat and triticale breeding and seed production, ablova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-3454-9988;

E. L. Shaydayuk¹, Candidate of Biological Sciences, researcher of the laboratory for mycology and phytopathology, eshaydayuk@bk.ru, ORCID ID: 0000-0003-3266-6272;

Yu. G. Levchenko², Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding on disease resistance in the department of wheat and triticale breeding and seed production, levchenko_j@mail.ru, ORCID ID: 0009-0002-4605-6942

¹FSBSI All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, 196600, Saint-Petersburg, Pushkin, Podbelskiy Sh., 3; e-mail: info@vizr.spb.ru;

²FSBSI “National Center of grain named after P.P. Lukyanenko”, 350012, Krasnodar-12, Central estate of KRIA; e-mail: kniish@kniish.ru

Yellow rust (pathogen *Puccinia striiformis* West.) is an economically significant wheat disease in the North Caucasus, the harmfulness of which has been increasing in the last decade. Information on the efficiency of resistance genes and the racial composition of the pathogen is necessary for successful genetic protection of wheat. The purpose of the current study was to characterize the virulence and racial composition of *P. striiformis* on genetically diverse varieties of winter common wheat grown in the Krasnodar Territory. The study objects were leaves with urediniopustules of *P. striiformis* collected in 2021–2024 from 16 winter common wheat varieties developed by the National Center of grain named after P.P. Lukyanenko in the Krasnodar Territory. There has been obtained a total of 53 single pustule isolates. Virulence was assessed using 29 virulence testers, namely 14 isogenic lines of the variety ‘Avocet’ (AvNIL) and 15 differentiator varieties. The genes *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24* and *Yr26* were characterized by high efficiency in the region, and they are recommended for breeding for yellow rust resistance. There were identified 16 phenotypes (races) in the studied collection of *P. striiformis* isolates when tested a full set of 29 differentiators and 10 races on 15 international differentiator varieties. For most varieties, there has been established an attack by an original phenotype, which determines the increased diversity of the Krasnodar population of *P. striiformis*. At the same time, the analysis of genetic distances between virulence phenotypes has not revealed significant differences between them, which suggests the existence of a single clonal population of the pathogen in this territory. The high evolutionary potential of *P. striiformis* requires annual monitoring of the virulence and racial composition of the pathogen population, and the search for new effective resistance donors for use in breeding for yellow rust resistance.

Keywords: virulence, *Yr* genes, *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, *Triticum aestivum*.

Введение. Желтая ржавчина (возбудитель – *Puccinia striiformis* West.) – вредоносное заболевание пшеницы во всем мире (Chen et al., 2021; Riella et al., 2024). В России оно имеет региональную значимость для Северо-Кавказского региона, где регулярно отмечается в посевах пшеницы в последние годы (Волкова и др., 2020; Volkova et al., 2021). Генетическая защита, основанная на возделывании разнообразных устойчивых сортов, – перспективное направление для развития сельского хозяйства и его экологизации. Она позволяет: повысить урожайность сельскохозяйственных культур за счет снижения потерь, наносимых болезнями; снизить пестицидную нагрузку; временные и финансовые трудозатраты на проведение химических мероприятий и уменьшить загрязненность урожая остаточными количествами пестицидов. Не случайно это направление поддерживается на государственном уровне (<http://government.ru/docs/all/149596>). Для осуществления генетической защиты необходима информация об эффективности генов устойчивости и расовом составе патогена, формирующегося на широко возделываемых и внедряемых сортах.

Возбудитель желтой ржавчины – быстро эволюционирующий патоген. Его популяции характеризуются высоким генетическим разнообразием по вирулентности и расовому составу (Liu et al., 2017). Северокавказская популяция не является исключением. При ее анализе в Федеральном научном центре биологической защиты в 2013–2018 гг. среди 189 изолятов *P. striiformis* обнаружено 182 расы (Volkova et al., 2021). Показано, что высокой эффективностью к желтой ржавчине характеризуются гены *Yr5*, *Yr10*, *Yr15* и *Yr24*, но они не встречаются в российских сортах (Volkova et al., 2021; Gulyaeva and Shaydayuk, 2023). При этом в отечественных сортах озимой пшеницы широкое распространение имеют гены *Yr9* и *Yr18*. Первые сорта, защищенные этими генами (Безостая 1 (*Yr18*), Кавказ и Аврора (*Yr9*)), в Северо-Кавказском регионе начали возделывать в кон-

це 1960-х гг. и далее их широко использовали в селекционных программах. Массовое возделывание однородных по генам *Yr9* и *Yr18* сортов привело к потере эффективности этих генов. Для продления срока «полезной жизни» *Yr9* и *Yr18* рекомендуется их пирамидирование с другими *Yr*-генами (Abbas et al., 2024). С 2015 г. в регионе начали возделывать сорта с геном *Yr17* (Морозко, Сварог, Маркиз, Гомер и др.). В сортах, рекомендованных для возделывания в Северо-Кавказском регионе, также встречается пшенично-ржаная транслокация 1AL.1RS с неизвестным *Yr*-геном – умеренно эффективным в защите от желтой ржавчины (Школа, Княгиня Ольга, Кохана) (Gulyaeva and Shaydayuk, 2023). Других известных каталогизированных *Yr*-генов в сортах северокавказской селекции не обнаружено (Gulyaeva and Shaydayuk, 2023).

Северо-Кавказский регион доминирует по производству зерна озимой пшеницы в Российской Федерации. В современный период здесь выращивается большое количество сортов, преимущественно созданных в Национальном центре зерна им. П. П. Лукьяненко, где селекция на устойчивость к ржавчинным болезням проводится в течение длительного времени. В результате получено многообразие сортов с различной генетической основой, которые характеризуются вариабельностью по уровню устойчивости, в том числе и к *P. striiformis* (Беспалова и др., 2024). В связи с нарастанием значимости желтой ржавчины представляло интерес оценить влияние возделываемых сортов озимой пшеницы на отбор патогена по вирулентности и формирование региональной популяции *P. striiformis*.

Цель исследований – охарактеризовать вирулентность и расовый состав возбудителя желтой ржавчины на генетически разнообразных сортах озимой мягкой пшеницы, возделываемых в Краснодарском крае.

Материалы и методы исследований. Объектом исследования служили листья с урединиопустулами *P. striiformis*, собранные

с сортов озимой мягкой пшеницы селекции НЦЗ им. П. П. Лукьяненко в Краснодарском крае в 2021, 2023–2024 годах. Изученные сорта пшеницы были созданы в разный период време-

ни (2005–2023 гг.). Они широко возделываются в Северо-Кавказском регионе и характеризуются разной степенью устойчивости/восприимчивости к желтой ржавчине (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика сортов озимой мягкой пшеницы, используемых в качестве источников инфекционного материала *P. striiformis*
Table 1. Characteristics of winter common wheat varieties used as infectious material sources *P. striiformis*

Сорт	Год включения в реестр	Годы изучения в данных исследованиях	Устойчивость к желтой ржавчине ¹	Yr-гены ²
Агрофак 100	2022	2024	Средневосприимчив	–
Безостая 100	2017	2024	Полевая устойчивость	Yr9, Yr18
Бумба	2021	2024	Средневосприимчив	–
Васса	2011	2021, 2023–24	Средневосприимчив	Yr9
Гром	2010	2021, 2023–24	Средневосприимчив	–
Еланчик	2020	2024	Средневосприимчив	–
Изабель	2023	2024	Средневосприимчив	Yr18
Илиада	2020	2024	Среднеустойчив	–
Классика	2021	2024	Средневосприимчив	–
Кольчуга	2023	2024	Полевая устойчивость	Yr9
Монэ	2022	2021, 2024	Полевая устойчивость	–
Собербаш	2019	2021	Среднеустойчив	–
Стиль 18	2021	2024	Средневосприимчив	–
Таня	2005	2021, 2023–24	Полевая устойчивость	Yr9, Yr18
Федор	2022	2024	Устойчивый	Yr9
Школа	2022	2024	Средневосприимчив	1AL.1RS

Примечание. 1 – по данным Беспалова и др., 2024 г.;

2 – по данным Gulyaeva and Shaydayuk, 2023.

Для получения монопустульных изолятов и проведения анализа вирулентности листа пшеницы с урединиопустулами *P. striiformis* раскладывали в чашки Петри. С одной стороны концы их прикрывали ватным валиком, смоченном в 0,004%-м растворе бензимидазола (Михайлова и др., 2000). Чашки помещали в холодильник (3–5 °C) на 1–5 дней. После появления свежего спороношения патогена отрезки с урединиопустулами с помощью пищевой пленки привязывали к листьям 10–14-дневных растений восприимчивого сорта Мичиган Амбер. В течение первых суток сосуды с растениями выдерживали в темноте при температуре 10 °C и влажности 100 % в климатической камере Versatile Environmental Test Chamber MLR-352H. Далее пленку с инфекционным материалом (отрезками листьев) снимали и растения инкубировали при следующих параметрах: 16 ч – день (освещение 15000–20000 лк), температура 16 °C; 8 ч – ночь, температура 10 °C. Споровый материал собирали через 15–18 дней и далее через 3–5 дней до усыхания листьев с помощью вакуумного насоса со специальной насадкой. Для получения и размножения монопустульных изолятов использовали отрезки листьев с отдельными урединиопустулами.

Вирулентность охарактеризована с использованием 14 почти изогенных линий сорта Avocet (AvNIL) с генами Yr1, Yr5, Yr6, Yr7, Yr8, Yr9, Yr10, Yr15, Yr17, Yr18, Yr24, Yr26, YrSp, Yr27 и 15 сортов-дифференциаторов из европейско-

Moro, Strubes Dickkopf, Suwon 92/Omar) и международного (Hybrid 46, Reichersberg 42, Heines Peko, Nord Desprez, Compare, Carstens V, Spaldings Prolific, Heines VII) наборов. Для этого 10–12-дневные растения дифференциаторов опрыскивали суспензией спор в малотоксичной для растений жидкости NOVEC 7100 (концентрация 10⁶ спор/мл) с использованием аэрографа. Последующая инкубация наборов тестеров вирулентности выполнена по вышеописанным параметрам.

Реакцию на инокуляцию патогеном определяли по шкале G. Gassner и W. Straib, где балл 0 – отсутствие симптомов, 0; – некротические пятна; 1 – мелкие пустулы с некрозом, 2, 2; – мелкие, средние пустулы, окруженные некрозом или хлорозом, 3 – среднего размера пустулы без хлороза, 4 – крупные пустулы без хлороза; «–» и «+» – промежуточные типы реакции.

Фенотипы *P. striiformis* определяли на полном наборе тестеров вирулентности (14 AvNIL и 15 сортов-дифференциаторов) и отдельно на сортах-дифференциаторах. При обозначении рас на сортах-дифференциаторах применяли десятичную систему обозначения каждого сорта (устойчивая реакция – 0, восприимчивая – 1; соответственно первый дифференциатор 2⁰, второй 2¹, третий 2² и т. д.). Сначала указывали номер на 7 сортах из международного набора (Chinese 166, Lee, Heines Kolben, Vilmorin 23, Moro, Strubes Dickkopf, Suwon 92/Omar), затем номер на 8-ми сортах из европейского набора с приставкой E

(Hybrid 46, Reichersberg 42, Heines Peko, Nord Desprez, Compair, Carstens V, Spaldings Prolific, Heines VII) (Rsaliyev et al., 2025).

Частоты вирулентности патогена к линиям и сортам-дифференциаторам, фенотипы (расы) и анализ генетического родства между фенотипами (расами) патогена на разных сортах определяли с использованием пакета программ GenAIEx (<https://biology-assets.anu.edu.au/GenAIEx/Welcome.html>).

Результаты и их обсуждение. Охарактеризована вирулентность 53 монопустьевых изолятов, выделенных с 17 сортов озимой мягкой пшеницы селекции НЦЗ им. П. П. Лукьяненко, выращиваемых в Краснодарском крае в 2021–2024 гг. (табл. 2).

Все изоляты были авирулентны к линиям AvNILs с генами *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr26* и сорту Moro (*Yr10*, *YrMor*) и вирулентны к линиям AvNILs: *Yr6*, *Yr9*, *Yr18* и сортам Lee, Suwon 92/Omar, Carstens V, Heines Kolben, Heines Peko. Редкая авирулентность к линии AvNIL с геном *Yr1* и дифференциатору Chinese 166 (с этим же геном) отмечена у изолятов на сортах Агрофак 100 и Классика; к линии AvNIL $Yr7$ – на сорте Еланчик; AvNIL $Yr7$ – на сортах Собербаш и Безостая 100; к дифференциатору Vilmorin – на сорте Собербаш; Strubes Dickkopf – на сортах Собербаш, Изабель, Кольчуга; Reishesberg и Heines VII 42 – на сорте Федор. Существенное варьирование по устойчивости отмечено на других линиях AvNILs и сортах-дифференциаторах (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика вирулентности изолятов *P. striiformis* на изученных сортах озимой мягкой пшеницы
Table 2. Characteristics of virulence of *P. striiformis* isolates on the studied winter common wheat varieties

Сорт пшеницы	Год	Тип реакции к линиям и сортам-дифференциаторам (балл)														
		AvNIL Yr1	AvNIL Yr7	AvNIL Yr8	AvNIL Yr17	AvNIL YrSP	AvNIL Yr27	Chinese 166	Vilmorin	Strubes Dickkopf	Hybrid 46	Reishesberg 42	Nord Desprez	Compair	Spaldings Prolific	Heines VII
Васса	2021	3	3	1–2	2	3	3–4	3	3–4	3	3	3–4	0	3	3	3–4
Васса	2023	3	3	0	2	3	3	3	3–4	3	3	3–4	0	3	2–3	3–4
Васса	2024	3	3	0	0	3	3	3	3–4	3	3	3–4	0	3	2–3	3–4
Таня	2021	3	3	3	0–1	3	3	3	3–4	2–3	3	3–4	2	2–3	3	2–3
Таня	2023	3	3	3	0	3	3–4	3	3–4	3	3	3–4	0	3	3	3
Таня	2024	3	3	3	3	3	3–4	3	3–4	3	3	3–4	2	3	2–3	3
Гром	2021	3	3	0	0	2–3	3	3	3–4	2–3	3–4	3–4	3–4	0	2–3	3
Гром	2023	3	3	0	0	2–3	3	3	3–4	2–3	3–4	3–4	3–4	0	2–3	3
Гром	2024	3	2–3	0	0	2–3	3	3	3–4	3	3–4	3–4	3	1–2	2–3	2–3
Монэ	2021	3	3	3	0–1	3	2–3	3	3	3	3	3–4	0	2	3	3–4
Монэ	2024	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	0	0–1	3	3–4
Собербаш	2021	3	3	3–4	0	0	0	3	2	0	3	3–4	0–2	3	0	3–4
Агрофак 100	2024	0	3	3	3	2	3	0	3–4	3	3	3–4	3	3	0	3
Безостая 100	2024	3	3	3	0	0	0	3	3–4	3	3–4	3–4	0	3	3	3
Бумба	2024	3	3	0	3	3	2–3	3	3–4	3	3–4	3	3	0	3	3
Еланчик	2024	3	2	0	0	3	3	3	3–4	3	3–4	3	0	3	3	3
Изабель	2024	3	3	0–1	3	3	3	3	3–4	0–1	3	3	0;	3	3	3
Илиада	2024	3	3	0	0	3	3	3	3–4	3	3–4	3–4	0	2–3	3	3
Классика	2024	0	3	3	0	3	2	0	3–4	3	3–4	3–4	3	0	3	2–3
Кольчуга	2024	3	3	0	3	3	2–3	3	3–4	0	3–4	3–4	0	0	3	3
Стиль 18	2024	3	3	0	0	3	3	3	3	3	3–4	3–4	3	3	3	3
Федор	2024	3	3	3–4	0	0	2–3	3	3–4	3	3–4	0–1	0	0	0	0
Школа*	2024	3	3–4	0	3	3	2–3	3	3–4	3	3	3	3	0	3	3–4
Школа*	2024	3	3–4	0	3	2–3	3	3	3–4	3	3–4	3	2–3	0	2–3	3–4
Школа*	2024	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3–4

Примечание. Все изоляты *P. striiformis* показали балл реакции «0, 0;» на линиях AvNILs: *Yr5*, *Yr10*, *Yr15* и сорте 'Moro'; баллы «1–2» – на линиях AvNILs: *Yr24*, *Yr26*; баллы «3,4» – на линиях AvNILs: *Yr6*, *Yr9*, *Yr18*, сортах Lee, Suwon 92/Omar, Carstens V, Heines Kolben, Heines Peko.

* – инфекционный материал с сорта Школа был собран в трех точках Краснодарского края.

Инфекционный материал с сортов Таня, Васса и Гром изучали в 2021 и 2023–2024 гг., с сорта Монэ – в 2021 и 2024 годах. Стабильность по вирулентности и идентичность расового состава отмечены на сортах Васса, Гром

и Моне в изученный период времени. У изолятов с сорта Таня в 2024 г. отмечена новая вирулентность к *Yr17*, несмотря на то, что у него этот ген отсутствует. Инфекционный материал на сорте Школа был собран в разных районах

Краснодарского края в 2024 году. Вирулентность урединииообразцов с этого сорта была сходной во всех изученных точках, что указывает на стабильность отбора одним генотипом соответствующих рас в разных условиях выращивания.

Сводные результаты анализа вирулентности показали, что большинство известных *Yr*-генов, представленных у линий и сортов-дифференциаторов, характеризуются низкой эффективностью по отношению к краснодарской популяции *P. striiformis* (частоты вирулентности 40–100 %) (табл. 3). Высокий уровень устой-

чивости отмечен у линий AvNILs с генами *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24*, *Yr26* и сорта Moro (*Yr10*, *YrMor*). Сходные результаты по эффективности этих генов в изученный период получены в соседнем Казахстане (Rsaiyev et al., 2025) и в других странах мира (Chen et al., 2021). Отмечается нарастающее число вирулентных изолятов к умеренно эффективному в регионе гену *Yr17*. Ограниченное число эффективных доноров указывает на необходимость поиска новых эффективных источников и доноров устойчивости пшеницы к желтой ржавчине.

Таблица 3. Частоты вирулентности к линиям и сортам-дифференциаторам в краснодарской популяции *P. striiformis* (2021, 2023–2024 гг.)
Table 3. Virulence frequencies to differentiator lines and varieties in the Krasnodar population of *P. striiformis* (2021, 2023–2024)

Линия, сорт пшеницы с <i>Yr</i> -генами	Частота, %
AvNILs: <i>Yr5</i> , <i>Yr10</i> , <i>Yr15</i> , <i>Yr24</i> , <i>Yr26</i> ; Moro (<i>Yr10</i> , <i>Yr+</i>)	0
AvNIL <i>Yr17</i>	28,3
'Nord Desprez' (<i>Yr3</i> , <i>YrND</i> , <i>Yr+</i>)	34
AvNIL <i>Yr8</i>	41,5
Compair (<i>Yr8</i> , <i>Yr19</i>)	60,4
AvNIL <i>YrSp</i> Spaldings Prolific (<i>YrSP</i> , <i>Yr+</i>)	83
AvNIL <i>Yr27</i> , Strubes Dickkopf (<i>YrSD</i> , <i>Yr25</i> , <i>Yr+</i>)	86,8
AvNILs: <i>Yr1</i> , <i>Yr27</i> , Chinese 166 (<i>Yr1</i>),	92,5
Vilmorin 23 (<i>Yr3</i> , <i>Yr+</i>)	94,3
AvNIL <i>Yr7</i> , Hybrid 46 (<i>Yr4</i> , <i>Yr+</i>), Reichersberg 42 (<i>Yr7</i> , <i>Yr+</i>), Heines VII' (<i>Yr2</i> , <i>Yr25</i> , <i>Yr+</i>)	96,2
AvNILs: <i>Yr6</i> , <i>Yr9</i> , <i>Yr18</i> , 'Lee' (<i>Yr7</i> , <i>Yr+</i>), Suwon 92/Omar (<i>YrSu</i> , <i>Yr+</i>), Carstens V' (<i>Yr32</i> , <i>Yr25</i> , <i>Yr+</i>), Heines Peko (<i>Yr2</i> , <i>Yr6</i> , <i>Yr25</i> , <i>Yr+</i>), Heines Kolben (<i>Yr6</i> , <i>Yr2</i>)	100
Число изолятов	53

Среди изученных 53 изолятов *P. striiformis* определено 15 фенотипов (рас) (табл. 4). Общие фенотипы отмечены на средневосприимчивых сортах Васса и Илиада (фенотип № 1), а также Школа и Бумба (фенотип № 2). На других сортах встречались оригинальные фенотипы (1 сорт – 1 фенотип). Однако между собой они различались несущественно (табл. 2). Число аллелей вирулентности у фенотипов на разных сортах варьировало от 16 (сорта Собербаш, Федор) до 22 (сорт Таня, 2024 г.).

С использованием международного и европейского наборов сортов-дифференциаторов определено 10 рас, из них 8 отмечены только на одном из сортов. Расы 111E247 и 111E239 определены на четырех сортах (Васса, Таня, Безостая 100 и Еланчик; Гром, Бумба, Классика и Школа соответственно). Расовый состав, определенный на краснодарских сортах в данных исследованиях, отличался от идентифицированного в сходный период времени в Казахстане (Rsaiyev et al., 2025).

Таблица 4. Фенотипический состав *P. striiformis* на сортах озимой пшеницы в Краснодарском крае (2021, 2023–2024 гг.)
Table 4. Phenotypic *P. striiformis* composition on winter wheat varieties in the Krasnodar Territory (2021, 2023–2024)

Сорт пшеницы	Годы изучения	Фенотип ¹	Раса ²	Число аллелей вирулентности ³
Васса	2021, 2023–24	№1	111E247	20
Таня	2021, 2023	№3	111E247	21
Таня	2024	№4	111E247	22
Гром	2021, 2023–24	№5	111E239	20
Монэ	2021, 2024	№6	111E231	20
Собербаш	2021	№7	71E183	16
Агрофак 100	2024	№8	110E247	19
Безостая 100	2024	№9	111E247	20
Бумба	2024	№10	111E239	21
Еланчик	2024	№2	111E247	19
Изабель	2024	№11	79E247	20
Илиада	2024	№12	111E247	20
Классика	2024	№1	111E239	20

Продолжение табл. 4

Сорт пшеницы	Годы изучения	Фенотип ¹	Раса ²	Число аллелей вирулентности ³
Кольчуга	2024	№13	78E231	17
Стиль 18	2024	№14	111E255	20
Федор	2024	№15	111E37	16
Школа	2024	№2	111E239	21

Примечание. 1 – фенотип патогена на 14 линиях и 15 сортах-дифференциаторах;
2 – раса, определенная по международной номенклатуре на 15 сортах-дифференциаторах;
3 – при тестировании на 29 тестерах вирулентности.

С использованием метода главных координат (PCoA) оценили генетическое родство между идентифицированными фенотипами вирулентности (пакет программ GenAlEx, Genetic distance options) (см. рисунок). На многомерной диаграмме большинство фенотипов сгруппировались в единую группу. Только два фенотипа, определенные на сортах Агрофак 100 и Собербаш, умеренно дифференцировались с этой группой. Фенотип

на сорте Собербаш характеризовался минимальным числом аллелей вирулентности (16), а на сорте Агрофак 100 – умеренным (19). Оба этих фенотипа характеризовались редкой авирулентностью к линии AvNILYrSp и сорту Spaldings Prolific. Кроме того, фенотип на сорте Собербаш был авирулентен к линии AvNILYr7 и сортам-дифференциаторам Vilmorin, Strubes Dickkopf, а на сорте Агрофак 100 – к AvNILYr1 и Chinese 166.

Principal Coordinates (PCoA)



Генетическое родство между фенотипами *P. striiformis* на сортах озимой мягкой пшеницы в Краснодарском крае (GenAlEx, Genetic distance options) (2021, 2023–2024 гг.)
Genetic relationship between *P. striiformis* phenotypes on winter common wheat varieties in the Krasnodar Territory (GenAlEx, Genetic distance options) (2021, 2023–2024)

Выводы. Изучена коллекция из 53 монопустульных изолятов *P. striiformis*, полученных с 16 сортов озимой мягкой пшеницы, выращиваемых в Краснодарском крае в 2021–2024 годах. 16 фенотипов (рас) определено при тестировании на полном наборе из 29 дифференциаторов и 11 рас на 15 международных сортах-дифференциаторах. Для большинства сортов определено поражение оригинальным фенотипом, что обуславливает высокое разнообразие красnodарской популяции *P. striiformis*. При этом анализ главных координат (PCoA) не выявил существенных различий между фенотипами вирулентности. Это указывает на существование единой клональной популяции,

которая характеризуется высокой динамичностью. Наибольшей эффективностью в регионе характеризуются гены *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24* и *Yr26*. Образцы с этими генами рекомендуются для селекции на устойчивость к желтой ржавчине. Высокий эволюционный потенциал *P. striiformis* обуславливает проведение ежегодного мониторинга вирулентности и расового состава популяции патогена и поиск новых эффективных доноров устойчивости для использования в селекции на устойчивость к желтой ржавчине.

Финансирование. Исследования выполнены в рамках государственного задания ФГБНУ ВИЗР FGEU-2025-0005.

Библиографический список

1. Беспалова Л. А., Лукомец В. М., Кудряшов И. Н., Аблова И. Б., Мудрова А. А., Ковтуненко А. Я. и др. Сорты пшеницы и тритикале: каталог. ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко». Краснодар: ЭДВИ, 2024. 192 с.
2. Волкова Г. В., Матвеева И. П., Дерова Т. Г., Шишкин Н. В., Марченко Н. В. Источники устойчивости к желтой ржавчине (возбудитель *Puccinia striiformis* West.) среди селекционного и коллекционного материала озимой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2020. № 4(70). С. 69–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-69-76
3. Михайлова Л. А., Гультяева Е. И., Мироненко Н. В. Методы исследования структуры популяций возбудителя бурой ржавчины пшеницы *Puccinia recondita* Rob.ex Desm.f.sp. *tritici* // Иммуногенетические методы создания устойчивых к вредным организмам сортов: Методические рекомендации. СПб.: ВИЗР, 2000. 26 с.
4. Abbas S., Li Y., Lu J., Hu J., Zhang X., Lv X., Shahzad A., Ao D., Abbas M., Wu Y., Zhang L., Fayyaz M. Evaluation of stripe rust resistance and analysis of resistance genes in wheat genotypes from Pakistan and Southwest China // *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 15, Article number: 1494566. DOI: 10.3389/fpls.2024.1494566.
5. Chen X., Wang M., Wan A., Bai Q., Li M., López P. F., Maccaferri M., Mastrangelo M., Barnes C., Fabricio D., Cruz C., Tenuta A. U., Esmail S. M., Abdelrhim A. S. Virulence characterization of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* collections from six countries in 2013 to 2020 // *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2021. Vol. 43(2), P. 308–322. DOI: 10.1080/07060661.2021.1958259
6. Gulyaeva E., Shaydayuk E. Resistance of modern Russian winter wheat cultivars to yellow rust // *Plants*. 2023. Vol. 12(19), Article number: 3471. DOI: 10.3390/plants12193471
7. Liu T., Wan A., Liu D., Chen X. Changes of races and virulence genes in *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, the wheat stripe rust pathogen, in the United States from 1968 to 2009 // *Plant Disease*. 2017. Vol. 101(8), P. 1522–1532. DOI: 0.1094/PDIS-12-16-1786-RE
8. Riella V., Rodriguez-Algaba J., García R., Pereira F., Silva P., Hovmøller M. S., Germán S. New races with wider virulence indicate rapid evolution of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in the Southern Cone of America // *Plant Disease*. 2024. Vol. 108(8), P. 2454–2461. DOI: 10.1094/PDIS-02-24-0320-RE
9. Rsaliyev Sh., Rsaliyev A., Urazaliev R., Dubekova S., Serikbaykyzy S. Population composition and virulence of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in Kazakhstan // *Plant Protection Science*. 2025. Vol. 61(2), P. 152–161. DOI: 10.17221/16/2024-PPS
10. Volkova G. V., Kudinova O. A., Matveeva I. P. Virulence and diversity of *Puccinia striiformis* in South Russia // *Phytopathol. Mediterr.* 2021. Vol. 60(1), P. 119–127. DOI: 10.36253/phyto-12396

References

1. Bespalova L. A., Lukomets V. M., Kudryashov I. N., Ablova I. B., Mudrova A. A., Kovtunencko A. Ya. i dr. Sorta pshenitsy i tritikale: katalog [Wheat and triticale varieties: catalog]. FGBNU «NTSZ im. P. P. Luk'yanenko». Krasnodar: EDVI, 2024. 192 s.
2. Volkova G. V., Matveeva I. P., Derova T. G., Shishkin N. V., Marchenko N. V. Istochniki ustoichivosti k zheltoi rzhavchine (vozbuditel' *Puccinia striiformis* West.) sredi selektsionnogo i kolleksiionnogo materiala ozimoi pshenitsy FGBNU «ANTs «Donskoi» [Yellow rust resistant sources (pathogen *Puccinia striiformis* West.) among breeding and collection material of winter wheat of the FSBSI "ARC "Donskoy"] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2020. № 4(70). S. 69–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-69-76
3. Mikhailova L. A., Gul'tyaeva E. I., Mironenko N. V. Metody issledovaniya struktury populyatsii vozbuditelya buroi rzhavchiny pshenitsy *Puccinia recondita* Rob.ex Desm.f.sp. *tritici* [Methods for studying the population structure of the causative agent of brown rust of wheat *Puccinia recondita* Rob.ex Desm.f.sp. *tritici*] // *Immunogeneticheskie metody sozdaniya ustoichivykh k vrednym organizmam sortov: Metodicheskie rekomendatsii*. SPb.: VIZR, 2000. 26 s.
4. Abbas S., Li Y., Lu J., Hu J., Zhang X., Lv X., Shahzad A., Ao D., Abbas M., Wu Y., Zhang L., Fayyaz M. Evaluation of stripe rust resistance and analysis of resistance genes in wheat genotypes from Pakistan and Southwest China // *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 15, Article number: 1494566. DOI: 10.3389/fpls.2024.1494566.
5. Chen X., Wang M., Wan A., Bai Q., Li M., López P. F., Maccaferri M., Mastrangelo M., Barnes C., Fabricio D., Cruz C., Tenuta A. U., Esmail S. M., Abdelrhim A. S. Virulence characterization of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* collections from six countries in 2013 to 2020 // *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2021. Vol. 43(2), P. 308–322. DOI: 10.1080/07060661.2021.1958259
6. Gulyaeva E., Shaydayuk E. Resistance of modern Russian winter wheat cultivars to yellow rust // *Plants*. 2023. Vol. 12(19), Article number: 3471. DOI: 10.3390/plants12193471
7. Liu T., Wan A., Liu D., Chen X. Changes of races and virulence genes in *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, the wheat stripe rust pathogen, in the United States from 1968 to 2009 // *Plant Disease*. 2017. Vol. 101(8), P. 1522–1532. DOI: 0.1094/PDIS-12-16-1786-RE
8. Riella V., Rodriguez-Algaba J., García R., Pereira F., Silva P., Hovmøller M. S., Germán S. New races with wider virulence indicate rapid evolution of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in the Southern Cone of America // *Plant Disease*. 2024. Vol. 108(8), P. 2454–2461. DOI: 10.1094/PDIS-02-24-0320-RE
9. Rsaliyev Sh., Rsaliyev A., Urazaliev R., Dubekova S., Serikbaykyzy S. Population composition and virulence of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in Kazakhstan // *Plant Protection Science*. 2025. Vol. 61(2), P. 152–161. DOI: 10.17221/16/2024-PPS
10. Volkova G. V., Kudinova O. A., Matveeva I. P. Virulence and diversity of *Puccinia striiformis* in South Russia // *Phytopathol. Mediterr.* 2021. Vol. 60(1), P. 119–127. DOI: 10.36253/phyto-12396

Поступила: 16.04.25; доработана после рецензирования: 17.06.25; принята к публикации: 17.06.25.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Гульятеева Е. И., Беспалова Л. А., Аблова И. Б. – концептуализация исследования, интерпретация, подготовка рукописи; Шайдаук Е. Л. – проведение лабораторных исследований; Левченко Ю. Г. выполнение полевых сборов, оценка устойчивости сортов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.