

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 577.21:633.11:632.937

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-204-217



Мониторинг вирулентности возбудителя желтой ржавчины пшеницы в Дагестане

Е. И. Гультяева¹, Е. Л. Шайдаюк¹, К. М. Абдуллаев², З. С. Айдемирова²¹ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дагестанская опытная станция – филиал ВИР, Дербентский район, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Ивановна Гультяева, eigulyaeva@gmail.com

Актуальность. Желтая ржавчина – вредоносное заболевание мягкой пшеницы. В 2020-х годах она доминирует в фитопатогенном комплексе на Дагестанской опытной станции (ОС) ВИР, где изучается обширная коллекция образцов *Triticum* L. Анализ вирулентности и расового состава *Puccinia striiformis* West., формирующегося на новых и районированных генотипах пшеницы, позволяет оценить ситуацию с желтой ржавчиной в регионах их производственного возделывания. Цель работы – мониторинг вирулентности дагестанской популяции *P. striiformis* в 2023 г. и оценка динамики ее изменчивости.

Материалы и методы. Листья с урединиопустилами *P. striiformis* собраны на Дагестанской ОС ВИР в 2023 г. на 30 образцах озимой мягкой пшеницы современной российской селекции. Набор тестеров вирулентности включал 14 почти изогенных линий сорта 'Avocet' (AvNILs) и 15 сортов-дифференциаторов из европейского и международного наборов. Анализ вирулентности проводили на 10–14-дневных проростках (фаза второго листа) по оригинальной методике. На коллекционном посеве Дагестанской ОС ВИР оценили устойчивость дифференциаторов в условиях высокого естественного фона заболевания в 2023 г.

Результаты и заключение. Высокой эффективностью в фазе проростков и взрослых растений характеризуются гены *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24* и *Yr26*, которые рекомендуются для селекции на устойчивость к желтой ржавчине. 23 фенотипа (расы) определены в 2023 г., из них только шесть отмечены на нескольких сортах, остальные были оригинальными. Сравнительный анализ фенотипического состава в 2023 г. и в предыдущий период (2020–2022) показал высокое разнообразие и динамичность дагестанской популяции патогена. Всего в 2020–2023 гг. изучено 139 изолятов и выделено 54 фенотипа (расы). Общая раса для четырех лет исследования не выявлена. Показано, что дагестанская популяция *P. striiformis* характеризуется значимой временной вариабельностью. Популяция в 2023 г. существенно отличалась от популяций 2020–2022 гг., что обуславливает необходимость проведения ежегодного мониторинга.

Ключевые слова: *Triticum aestivum*, *Puccinia striiformis*, гены *Yr*, популяция, устойчивость

Благодарности: все фитопатологические исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда, проект № 19-76-30005. Урединиообразцы *P. striiformis* собраны с образцов пшеницы, изучаемых в Дербенте, в рамках государственного задания ВИР согласно тематическому плану по проекту № FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве». Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Гультяева Е.И., Шайдаюк Е.Л., Абдуллаев К.М., Айдемирова З.С. Мониторинг вирулентности возбудителя желтой ржавчины пшеницы в Дагестане. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):204-217. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-204-217

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-204-217

Monitoring the virulence of the wheat yellow rust pathogen in Dagestan

Elena I. Gulyaeva¹, Ekaterina L. Shaydayuk¹, Kadyr M. Abdullaev², Zamira S. Aydemirova²¹ All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Dagestan Experiment Station – branch of VIR, Derbentsky District, Russia**Corresponding author:** Elena I. Gulyaeva, eigulyaeva@gmail.com

Background. Yellow rust is a harmful disease of wheat. In the 2020s, it has dominated in the phytopathogenic complex at Dagestan Experiment Station of VIR, where an extensive collection of *Triticum* L. accessions is studied. An analysis of the virulence and racial composition of *Puccinia striiformis* West. forming on new and commercial wheat genotypes makes it possible to assess the situation with yellow rust in the regions of their cultivation. The objective was to monitor the virulence of the Dagestan population of *P. striiformis* in 2023 and assess the dynamics of its variability.

Materials and methods. Leaves with urediniopustules of *P. striiformis* were collected at Dagestan Experiment Station of VIR in 2023 on 30 accessions of modern domestic winter bread wheat cultivars. The differential set included 14 nearly isogenic lines of cv. 'Avocet' (AvNILs) and 15 cultivars from the European and international sets. Virulence was analyzed on 10–14-day-old seedlings (second leaf phase) according to the previously described techniques. The resistance of differentiators in the phase of adult plants under high natural disease pressure was assessed.

Results and conclusion. The genes *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24*, and *Yr26* exhibited high efficiency in the seedling and adult plant phases and are recommended for yellow rust resistance breeding. Twenty-three phenotypes (races) were identified in 2023, and only six of them were observed on two or more cultivars. Comparing the phenotypic composition in 2023 with the previous period revealed high diversity and dynamism of the Dagestan population. A total of 139 isolates were studied in 2020–2023, and 54 phenotypes (races) were isolated. No race common for all four years of the study was identified. The Dagestan population of *P. striiformis* demonstrated significant temporal variability. The population in 2023 significantly differed from those in 2020–2022. This necessitates annual monitoring of the pathogen.

Keywords: *Triticum aestivum*, *Puccinia striiformis*, *Yr* genes, population, resistance

Acknowledgements: all phytopathology and molecular genetics studies of the pathogen were supported by the Russian Science Foundation, Project No. 19-76-30005. Samples of *P. striiformis* urediniospores were collected from wheat accessions studied in Derbent within the framework of the state task assigned to VIR, Project No. FGEM-2022-0009 "Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production".

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

For citation: Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L., Abdullaev K.M., Aydemirova Z.S. Monitoring the virulence of the wheat yellow rust pathogen in Dagestan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):204-217. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-204-217

Введение

Желтая ржавчина (возбудитель – *Puccinia striiformis* West.) – вредоносное заболевание пшеницы. В последние годы оно прогрессирует во всем мире (Bouvet et al., 2022). Возделывание устойчивых сортов – экологически безопасный и эффективный метод борьбы с болезнью. Для успешной генетической защиты необходима информация об эффективности генов устойчивости и расовом составе патогена. Популяционно-генетические исследования проводятся во многих странах мира, в том числе и в России (Sharma-Poudyal et al., 2013; Chen et al., 2021; Volkova et al., 2021; Gulyaeva et al., 2023; Riella et al., 2024).

Особую региональную значимость желтая ржавчина представляет для Северо-Кавказского региона (Volkova et al., 2021), где она ежегодно проявляется на посевах пшеницы. В отличие от возбудителя бурой ржавчины, *P. striiformis* характеризуется более высоким генетическим разнообразием (Gulyaeva et al., 2023). В популяционных исследованиях возбудителя желтой ржавчины в США в 2005–2009 гг. изучили 86 изолятов и выделили 64 расы (Liu et al., 2017). Среди 59 изолятов в Канаде в 2011 и 2013 г. определено 33 расы (Brar, Kutcher, 2016). D. Sharma-Poudyal с соавторами (Sharma-Poudyal et al., 2013) при анализе 235 изолятов из 13 стран мира на 20 AvocetNILs определили 129 рас, а на 20 североамериканских сортах-дифференциаторах – 169 рас. Г. В. Волкова с соавторами (Volkova et al., 2021) при анализе 189 северокавказских изолятов *P. striiformis* с использованием 23 сортов-дифференциаторов из международного, европейского и североамериканского наборов в 2013–2018 гг. идентифицировали 182 расы. В исследованиях дагестанской популяции в 2020–2022 гг. среди 79 изолятов мы выделили 30 фенотипов (Gulyaeva et al., 2023).

Высокий эволюционный потенциал *P. striiformis* и способность распространяться на обширные территории предопределяет необходимость проведения ежегодного мониторинга популяций патогена (Hovmøller et al., 2016b). Дагестан является одним из центров природного

биоразнообразия и происхождения многих ценных форм культурных растений, на территории которого наблюдаются интенсивные микроэволюционные процессы (Zhukovsky, 1971). В частности, Южный Дагестан относится к Переднеазиатскому генцентру происхождения пшеницы и их совместной эволюции с паразитами, в том числе и видами *Puccinia* Pers. В последние годы в Дагестане на образцах *Triticum* L. наблюдается ежегодное эпифитотийное развитие желтой ржавчины. Источником инфекции могут являться злаковые травы, эгилопсы и другие виды *Triticum*, произрастающие в естественных ценозах. Кроме того, возможен занос инфекции из соседнего Азербайджана, где желтая ржавчина также имеет ежегодное высокое развитие (Hasanova, Rustamov, 2019; Karimova, 2023). Подтверждением этому является обнаружение в Дагестане с 2021 г. изолятов *P. striiformis*, относящихся к инвазивной группе рас *PstS2* (Gulyaeva et al., 2023). В Азербайджане они отмечаются с 2015 г. (Hovmøller et al., 2016a).

На Дагестанской опытной станции (ОС) – филиале ВИР ежегодно изучается обширная коллекция зерновых культур и эгилопсов. Высокое генетическое разнообразие растения-хозяина обуславливает и высокую изменчивость патогенов по вирулентности. Особую актуальность представляет изучение расового состава патогена, формирующегося на современных отечественных генотипах *Triticum aestivum* L., которые в дальнейшем получат широкое внедрение в производство.

Цель данного исследования – мониторинг вирулентности дагестанской популяции *Puccinia striiformis* West. в 2023 г. и оценка динамики ее изменчивости.

Материалы и методы

Листья с урединопустулами *P. striiformis* собраны на Дагестанской ОС ВИР в 2023 г. на 30 образцах озимой мягкой пшеницы современной российской селекции, пораженность которых желтой ржавчиной показана в таблице 1.

Таблица 1. Пораженность сортов и линий озимой пшеницы *Puccinia striiformis* West. в Дагестане в 2023 г.

Table 1. Disease severity on winter wheat cultivars and lines affected by *Puccinia striiformis* West. in Dagestan in 2023

Образец пшеницы – источник инфекционного материала <i>P. striiformis</i> / Wheat accession, source of <i>P. striiformis</i> infection material	Год включения в Государственный реестр РФ / Year of inclusion in the State Register of the Russian Federation	Регионы допуска / Regions of admission	Характеристика устойчивости в Реестре / Characterization of resistance in the Register	Пораженность (%) / Disease severity	Yr-гены* / Yr genes
‘Алёнушка’	2023	СВ, У	–	10	–
‘Аюта’	2024	ЦЧР, СК	СВ	10	–
‘Басият’	2024	ЦЧР	СВ	10	Yr9
‘Башкирская 10’	2010	ВВ, У, ЗС	–	50	–
‘Башкирская 12’	2023	СВ	–	30	–
‘Боярка’	2023	Ц	–	10	–
‘Дарина’	2017	ВВ, СВ	–	30	–

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

Образец пшеницы – источник инфекционного материала <i>P. striiformis</i> / Wheat accession, source of <i>P. striiformis</i> infection material	Год включения в Государственный реестр РФ / Year of inclusion in the State Register of the Russian Federation	Регионы допуска / Regions of admission	Характеристика устойчивости в Реестре / Characterization of resistance in the Register	Пораженность (%) / Disease severity	Yr-гены* / Yr genes
‘ДаУР’	-	-	-	30	-
‘Заречная’	2022	ЦЧР	-	10	1AL.1RS
‘Касар 17’	-	-	-	10	-
‘Льговская 8’	2013	Ц, ЦЧР, СВ	-	10	<i>Yr18</i>
‘Люда’	2023	СК	-	100	-
‘Матрица’	2024	ЦЧР, СК	СВ	10	-
‘Мирабель 20’	2023	СВ, НВ, У	-	30	-
‘Морец’	2022	СК, НВ	У	10	<i>Yr18</i>
‘Московская 82’	2021	ВВ, ЦЧР	-	10	-
‘Нива Дона’	-	-	-	10	-
‘Орловская 32’	-	-	-	50	-
‘Памяти Кривобочка’	2024	СВ	-	100	-
‘Памяти Чекурова’	2023	ЗС	-	10	<i>Yr9</i>
‘Памяти Шатилова’	2021	СК	У	10	-
‘Поволжская 86’	1999	НВ, У	-	10	-
‘Приазовье’	2024	ЦЧР, СК	СВ	10	-
‘Рубин Дона’	2023	ЦЧР, НВ	-	10	<i>Yr9</i>
‘Студенческая Нива’	2022	СВ	-	50	<i>Yr18</i>
‘Табор’	2013	СК	У	10	-
‘Штиль’	-	-	-	10	-
‘Ювента’	-	-	-	50	-
Линия Лютесценс 21/92	-	-	-	50	-
Линия Лютесценс 316	-	-	-	30	-

Примечание: (регионы) СЗ – Северо-Западный, Ц – Центральный, ЦЧР – Центрально-Черноземный, ВВ – Волго-Вятский, СВ – Средневожский, СК – Северокавказский, У – Уральский, ЗС – Западно-Сибирский, ВС – Восточно-Сибирский; прочерк (–) – информация по устойчивости к желтой ржавчине в Государственном реестре не представлена; * – по результатам изучения во Всероссийском научно-исследовательском институте защиты растений (Gulyaeva, Shaydayuk, 2023)

Note: (regions) СЗ – Northwestern, Ц – Central, ЦЧР – Central Black Earth, ВВ – Volga-Vyatka, СВ – Middle Volga, СК – North Caucasian, У – Ural, ЗС – West Siberian, ВС – East Siberian; dash (–) means that the State Register contains no information on yellow rust resistance; * – according to the results of the studies conducted at the All-Russian Research Institute of Plant Protection (Gulyaeva, Shaydayuk, 2023)

Методика проведения анализа вирулентности представлена в предыдущей публикации (Gulyaeva et al., 2023). Реанимацию спороношения на сухих листьях вызывали путем раскладки их в чашки Петри. Для создания влажной камеры концы листьев прикрывали ватным валиком, смоченном в 0,004-процентном растворе бензидазола (Mikhailova et al., 1998). Чашки инкубировали в холодильнике (3–5°C). Свежие спороношение наблюдали через 2–5 дней. Далее отрезки листьев с отдельными урединиопустулами привязывали с помощью пищевой пленки к 10–14-дневным растениям восприимчивого сорта 'Мичиган Амбер'. Зараженные растения инкубировали в климатической камере Versatile Environmental Test Chamber MLR-352H. В течение первых суток растения находились при температуре 10°C и 100-процентной влажности без освещения. Далее пленку с инфекционным материалом снимали и использовали следующие параметры: 16 часов – день (освещение: 15 000–20 000 лк), температура – 16°C; 8 часов – ночь, температура – 10°C. Споровый материал каждого монопустульного изолята собирали через 15–18 дней и далее через 3–5 дней до усыхания листьев с помощью вакуумного насоса со специальной насадкой (https://www.tallgrassproducts.com/mini_cyclone_spore_collector).

С каждого образца пшеницы анализировали по два монопустульных изолята *P. striiformis*. Ранее показано, что в мелкоделяночных опытах на Госсортучастках (ГСУ) или коллекционных посевах НИИ на одном генотипе преимущественно паразитирует одна раса. При увеличении числа монопустульных изолятов с одного сорта не наблюдали ожидаемого разнообразия (Gulyaeva et al., 2023).

При анализе вирулентности использовали 14 почти изогенных линий сорта 'Avocet' (AvNILs) и 15 сортов-дифференциаторов из европейского и международного наборов (Gulyaeva et al., 2023). Суспензией спор в малотоксичной для растений жидкости NOVEC 7100 (концентрация – 10⁶ спор/мл) опрыскивали 10–12 дневные растения дифференциаторов. Последующая инкубация выполнена по вышеописанным параметрам.

Реакцию на инокуляцию патогеном определяли по шкале G. Gassner, W. Straib (1928), где балл 0 – отсутствие симптомов; 0; – гиперчувствительные 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 (McIntosh et al., 1995).

Частоты вирулентности и фенотипический (расовый) состав вычисляли для общей выборки изолятов (популяции). Всего изучено 60 монопустульных изолятов: по два изолята с каждого образца пшеницы. Как и в предыдущие годы, различия в расовом составе у изолятов на одном сорте-хозяине не выявлены. Для статистической обработки проведена клоновая коррекция (clone correction), как это рекомендовано для популяционных исследований ржавчинных грибов (Kolmer et al., 2015).

Фенотипы *P. striiformis* определяли на полном наборе тестеров вирулентности (14 AvNILs 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 меж-

дународного набора ('Chinese 166', 'Lee', 'Heines Kolben', 'Vilmorin 23', 'Moro', 'Strubes Dickkopf', 'Suwon 92/Omar'), затем номер на 8 сортах из европейского набора с приставкой E ('Hybrid 46', 'Reichersberg 42', 'Heines Peko', 'Nord Desprez', 'Compare', 'Carstens V', 'Spaldings Prolific', 'Heines VII').

Статистическая обработка данных текущего года и сравнительный анализ с предыдущим периодом исследований выполнены в пакете программ GenALEX.

В условиях Дагестанской ОС ВИР на естественном инфекционном фоне оценили устойчивость линий и сортов-дифференциаторов к возбудителю желтой ржавчины. Для оценки использовали модифицированную шкалу Кобба (McIntosh et al., 1995). В 2023 г. наблюдали высокое развитие *P. striiformis* на коллекционном посеве образцов *Triticum* и *Aegilops* L.: пораженность восприимчивых контролей ('Avocet S', 'Jupateco S') достигала 100%.

Результаты и обсуждение

Частоты вирулентности патогена на 29 тестерах показаны в таблице 2. Высокий уровень устойчивости показали линии AvNILs с генами *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr26* и сорт 'Moro' (*Yr10*, *YrMor*). Варьирование частот от 7 до 13% отмечено на линиях с генами *Yr1*, *Yr7*, *Yr17*, *YrSp* и сортах 'Chinese 166', 'Nord Desprez' и 'Spaldings Prolific'; от 43 до 50% – на сортах 'Carstens V', 'Hybrid 46' и 'Strubes Dickkopf' и от 77 до 100% – на других тестерах вирулентности.

Динамика вирулентности дагестанской популяции в 2020–2023 гг. показана на диаграмме (рис. 1). Высокой эффективностью характеризовались гены *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24* и *Yr26*, которые рекомендуются для селекции на устойчивость к желтой ржавчине. Умеренная вирулентность (9–16%) отмечена на линии с геном *Yr17*. Существенное варьирование по вирулентности выявлено на сорте 'Nord Desprez' (2020 г. – 66%, 2021–2022 гг. – 0%, 2023 г. – 9%) и линии AvNILYr7 (2020 г. – 66%, 2021 г. – 16%, 2022 г. – 31%, 2023 г. – 6%). В текущем году значимое снижение вирулентности отмечено на генотипах AvNILYr1, 'Chinese 166' с *Yr1* (2023 г. – 12%, 2020–2022 гг. – 46–66%) и AvNILYrSp, 'Spaldings Prolific' с *YrSp* (12% в сравнении с 53–100%). На других тестерах частоты вирулентности были стабильно высокими (50–100%), что указывает на неэффективность имеющихся у них *Yr*-генов.

Характеристики вирулентности изолятов *P. striiformis* на изученных сортах озимой мягкой пшеницы показана в таблице 3. Значительное варьирование баллов реакции наблюдали при инокуляции большинства тестеров вирулентности. Например, устойчивая реакция линии AvNILYrSp варьировала от «0» (отсутствие симптомов) до «2;» (мелкие и средние пустулы, окруженные некрозом или хлорозом), а восприимчивая – от «2;–3» (средние пустулы с некрозом или хлорозом и без них) до 4 баллов (крупные пустулы без хлороза).

23 фенотипа (расы) определено на 29 тестерах вирулентности (табл. 4), из них шесть были представлены на двух и более сортах. Фенотип № 1 отмечен на трех сортах ('Аленушка', 'Мирабель 20', 'Морец'), фенотипы № 2–6 – на двух сортах. На остальных сортах наблюдали оригинальные фенотипы (1 сорт – 1 фенотип). Число аллелей вирулентности патогена на разных сортах варьировало от 12 ('Табор') до 19 ('Боярка', 'Памяти Чекурова').

При использовании международного набора, включающего 15 сортов-дифференциаторов, определено 20 рас, из них шесть (78E150, 78E151, 78E182, 110E150, 110E183, 111E247) отмечены на двух и более сортах.

Таблица 2. Частоты вирулентности *Puccinia striiformis* West. в Дагестане в 2023 г.**Table 2. Virulence frequency of *Puccinia striiformis* West. in Dagestan in 2023**

Линия, сорт пшеницы с Yr-генами / Wheat line or cultivar with Yr genes	Частота, % / Frequency, %
AvNILsYr5, AvNILsYr10, AvNILsYr15, AvNILsYr24, AvNILsYr26, 'Moro'	0
AvNILYr7	7
AvNILYr17, 'Nord Desprez' (Yr3, YrND, Yr+)	10
AvNILYr1, 'Chinese 166' (Yr1), AvNILYrSp, 'Spaldings Prolific' (YrSP, Yr+)	13
'Carstens V' (Yr32, Yr25, Yr+)	43
'Hybrid 46' (Yr4, Yr+)	47
'Strubes Dickkopf' (YrSD, Yr25, Yr+)	50
'Vilmorin 23' (Yr3, Yr+)	77
AvNILYr27	80
'Heines VII' (Yr2, Yr25, Yr+)	88
AvNILYr8, 'Reichersberg 42' (Yr7, Yr+)	90
'Heines Peko' (Yr2, Yr6, Yr25, Yr+), 'Compair' (Yr8, Yr19)	97
AvNILsYr6, AvNILsYr9, AvNILsYr18, 'Lee' (Yr7, Yr+), 'Suwon 92/Omar' (YrSu, Yr+), 'Heines Kolben' (Yr6, Yr2)	100
Изучено изолятов	60

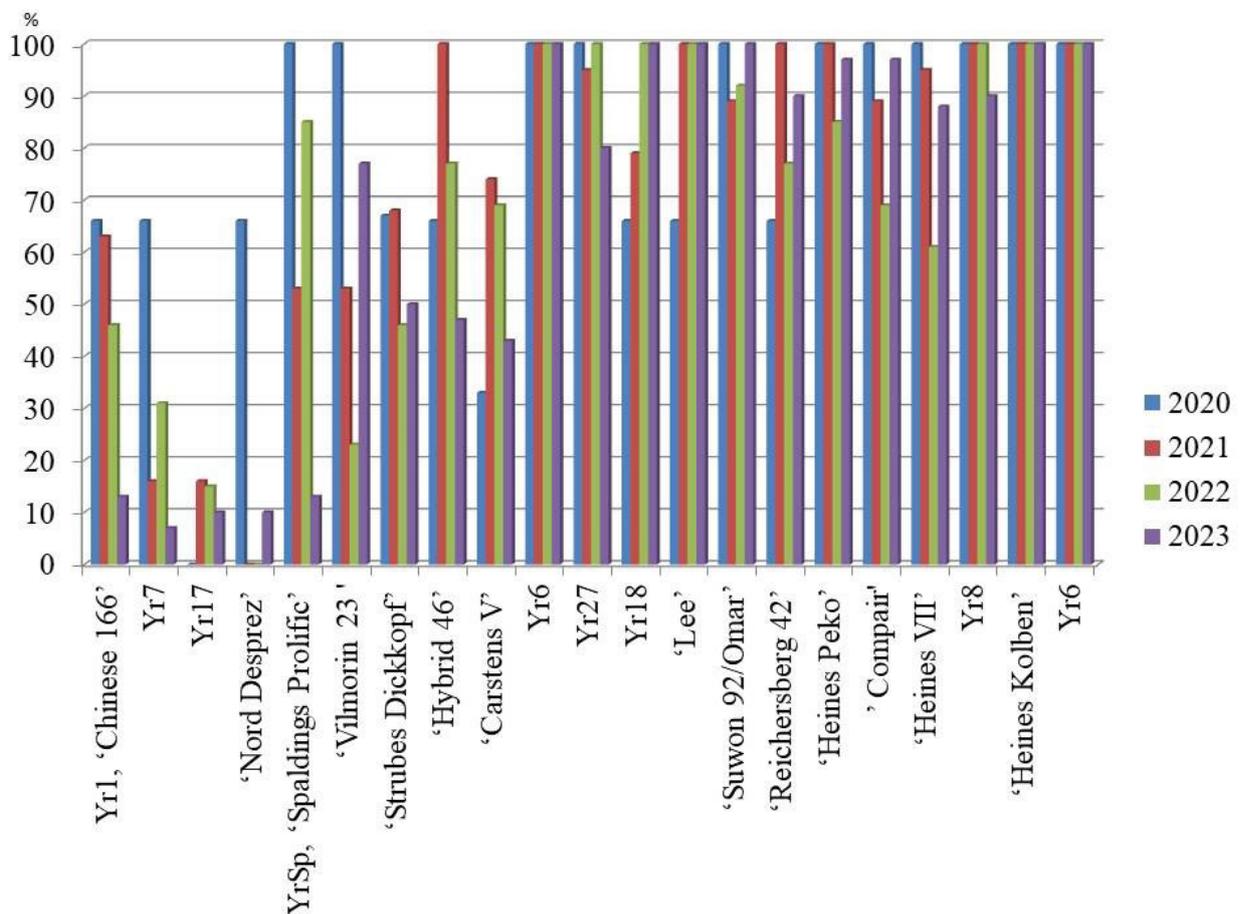
**Рис. 1. Динамика частот вирулентности в дагестанской популяции *Puccinia striiformis* West. в 2020–2023 гг.****Fig. 1. Dynamics of virulence frequencies in the Dagestan population of *Puccinia striiformis* West. in 2020–2023**

Таблица 3. Вирулентность изолятов *Puccinia striiformis* West., собранных с сортов и линий озимой мягкой пшеницы в Дагестане в 2023 г.

Table 3. Virulence of *Puccinia striiformis* West. isolates collected from winter bread wheat cultivars and lines in Dagestan in 2023

Образец мягкой пшеницы – источник инфекционного материала <i>P. striiformis</i> Bread wheat accession, source of <i>P. striiformis</i> infection material	Сорта и линии дифференциаторы / Differential cultivars and lines																
	Avocet Yr1	Avocet Yr7	Avocet Yr8	Avocet Yr17	Avocet YrSP	Avocet Yr27	'Chinese 166'	'Vilmorin'	'Strubes Dickkopf'	'Hybrid 46'	'Reishesberg 42'	'Heines Peko'	'Nord Desprez'	'Compair'	'Carstens V'	'Spaldings Prolific'	'Heines VII'
'Алёнушка'	0	1-2;	3	0-1;	2;	3-4	0	2-3	2;	2	3-4	3-4	2;	3-4	2;-3	2;	2-3
'Аюта'	0	1-2;	4	0-2;	0-2;	3-4	0	0-2;	3-4	3-4	4	4	2	3-4	3-4	0-2;	3-4
'Басият'	0	2;	3	2;	0	2-3	0	2-3	2;	2	3-4	3-4	0	3-4	2-3	0	2;
'Башкирская 10'	0	2; 3-	2;-3	0	1-2	3-4	0	2;	3-4	3-4	3-4	3-4	0-2;	2;-3	3	0-1;	2;-3
'Башкирская 12'	3-4	0;	3	0;	0-2;	3-4	3-4	2;-3	3-4	3-4	3-4	3-4	0	3-4	0	0-2;	3-4
'Боярка'	3-4	0-1;	2;	0;	3	3-4	3-4	3	2;-3	3	3-4	3-4	0	2-3	3-4	3	3-4
'Дарина'	0	2;	3-4	0-1;	2;	3-4	0	2;-3	3-4	2;	3-4	0	0	3-4	0;	2;	2;-3
'ДаУР'	0	0;	3-4	0-1;	0	0	0	3-4	3-4	2-3	3-4	3-4	2	3-4	0	0	3-4
'Заречная'	0	0	3-4	0-1;	0	3-4	0	0;	3-4	3	0	3-4	0	3-4	0	0	3-4
'Касар 17'	3-4	0;	3-4	0	0	3-4	3-4	3	0	0	0;	3-4	0	3-4	0;	0	0;
'Льговская 8'	0	2; 3-	4	0	1-2	2-3	0	2;-3	0-2;	3-4	3-4	3-4	2	3-4	0	2;	2;-3
'Люда'	0	2; 3-	3-4	0;	2;	3-4	0	3-4	0	0	3-4	3-4	0;	3-4	0	0-1;	3-4
Линия Лютесценс 21/92	0	3	3-4	0-1;	3	3-4	0	3-4	3-4	2;	3-4	3-4	2	3-4	2;	3	3-4
Линия Лютесценс 316	0	2;	3-4	0;	0	3-4	0	2-3	3-4	3-4	3-4	3-4	0-2;	3-4	3	0;	3-4
'Матрица'	0	2;	3-4	0;	0-1;	0-2;	0	3	0	3	3-4	3-4	0-1;	3-4	0	0-1;	3-4
'Мирабель 20'	0	2; 3-	3-4	0	2;	3-4	0	2;-3	0	0	3-4	3-4	0	3-4	2;-3	2;	3-4
'Морец'	0	2;	3-4	0-1;	0-1	3-4	0	2-3	0-1;	2;	3-4	3-4	2;	3-4	2-3	2;	3-4
'Московская 82'	0	2;	3-4	2;	0-1	3-4	0	2;-3	4	3	2;-3	2;	0	0-2;	2;-3	0-1;	2-3
'Нива Дона'	0	2;	3-4	3	0-1;	3-4	0	0;	3-4	2-3	3-4	3-4	2	3-4	0;	0-1;	2;
'Орловская 32'	0	2;	3-4	0;	2	3-4	0	3	3-4	0;	3-4	3-4	2	3-4	2;	2;	3-4

Таблица 3. Окончание

Table 3. The end

Образец мягкой пшеницы – источник инфекционного материала <i>P. striiformis</i> Bread wheat accession, source of <i>P. striiformis</i> infection material	Сорта и линии дифференциаторы / Differential cultivars and lines																
	Avocet Yr1	Avocet Yr7	Avocet Yr8	Avocet Yr17	Avocet YrSP	Avocet Yr27	'Chinese 166'	'Vilmorin'	'Strubes Dickkopf'	'Hybrid 46'	'Reishesberg 42'	'Heines Peko'	'Nord Desprez'	'Compair'	'Carstens V'	'Spaldings Prolific'	'Heines VII'
'Памяти Кривобочка'	0	0;	3-4	0	3	0	0	2;-3	0	0	3-4	3-4	0	3-4	2;-3	3	3-4
'Памяти Чекурова'	3-4	0-1;	2;	0;	2-3	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	0	2;-3	3-4	2-3	3-4
'Памяти Шатилова'	0	2	3-4	0	0	2	0	2;	2;	2;	3-4	3-4	2	3-4	0;	0;	3-4
'Поволжская 86'	0	2; 3-	3-4	0-1;	2	3-4	0	2;-3	0	0	3-4	3-4	0	3-4	0	2	3-4
'Приазовье'	0	2; 3-	3-4	0;	2;	3-4	0	2;-3	3-4	3-4	3-4	2;-3	3-4	3-4	3-4	2;	2-3
'Рубин Дона'	0	2; 3-	3-4	3	4	3-4	0	2;	0-1;	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	0	4	3-4
'Студенческая Нива'	0	0-2;	3-4	0-1;	0;	0	0	3-4	2;	0-1;	3	2-3	2	3-4	0;	0;	3-4
'Табор'	0	2;	3-4	0-1;	2;	3-4	0	2-3	0	0	2;	3-4	0	3-4	0	2;	3-4
'Штиль'	0	2; 3-	3-4	2-3	0	3-4	0	2;	3	0	3-4	3-4	2	3-4	3-4	0	2;
'Ювента'	0	2; 3-	2	3	2	0-1	0	3-4	0	3-4	3-4	3-4	2-3	3-4	0	2	3

Примечание: все изоляты *P. striiformis* обуславливали балл реакции «0, 0;» на линиях AvNILsYr5, AvNILsYr10, AvNILsYr15 и сорте 'Moro'; баллы «1-2» на линиях AvNILsYr24, AvNILsYr26; баллы «3-4» на линиях AvNILsYr6, AvNILsYr9, AvNILsYr18, сортах 'Lee', 'Suwon 92/Omar', 'Heines Kolben'

Note: all isolates showed a reaction score of "0, 0;" on AvNILsYr5, AvNILsYr10, and AvNILsYr15, and on cv. 'Moro'; score "1-2" on AvNILsYr24, and AvNILsYr26; score "3-4" on AvNILsYr6, AvNILsYr9, and AvNILsYr18, and on cvs. 'Lee', 'Suwon 92/Omar', and 'Heines Kolben'

Многолетний анализ дагестанской популяции *P. striiformis* указывает на высокую динамичность ее фенотипического состава, что обусловлено высоким числом использованных сортов-хозяев и их генетическим разнообразием (2020 г. – 3 сорта, 2021 г. – 19, 2022 г. – 13, 2023 г. – 30). Всего в 2020–2023 гг. изучено 139 изолятов и определено 54 фенотипа (расы). Общие расы для четырех лет исследования не выявлены. Идентичная раса обнаружена на сорте 'Граф', изучавшемся в 2021 и 2022 г., и на сорте 'Сварог' в 2021 г. Оба эти сорта генетически однородны по устойчивости к желтой ржавчине и защищены геном *Yr17*. Полученные сведения о высоком расовом разнообразии *P. striiformis* согласуются с аналогичными исследованиями в других странах (Sharma-Poudyal et al., 2013; Liu et al., 2017; Brar, Kutcher, 2016).

Показано, что расовый состав ржавчинных патогенов, формирующихся в условиях мелкоделяночных опытов на ГСУ и селекционных посевах, близок к тому, который будет формироваться на генотипах пшеницы при внедрении в производство (Fontyn et al., 2022). Соответственно, результаты о расовом составе патогена на районированных и перспективных сортах озимой мягкой пшеницы, полученные в данных исследованиях, позволяют оценить ситуацию с желтой ржавчиной в регионах их районирования.

Генетическое родство по признаку вирулентности между фенотипами *P. striiformis* оценивали в 2023 г. (рис. 2) и в 2020–2023 гг. (рис. 3). Несмотря на высокое фенотипическое разнообразие дагестанской популяции в 2023 г. (23 фенотипа), на многомерной диаграмме боль-

Таблица 4. Фенотипический состав *Puccinia striiformis* на сортах и линиях озимой пшеницы в Дагестане в 2023 г.**Table 4. Phenotypic composition of *Puccinia striiformis* West. on winter wheat cultivars and lines in Dagestan in 2023**

Образец пшеницы / Wheat accession	Фенотип* / Phenotype	Раса** / Race	Число аллелей вирулентности*** / Number of virulence alleles
‘Алёнушка’	№ 1	78E182	14
‘Мирабель 20’	№ 1	78E182	14
‘Морец’	№ 1	78E182	14
‘Матрица’	№ 2	78E151	13
‘Студенческая Нива’	№ 2	78E151	13
‘Льговская 8’	№ 7	78E151	15
‘Аюта’	№ 3	110E183	15
‘Башкирская 10’	№ 3	110E183	15
Лют. 316	№ 8	110E183	16
‘Люда’	№ 4	78E150	13
‘Поволжская 86’	№ 4	78E150	13
‘Дарина’	№ 5	110E150	14
‘Орловская 32’	№ 5	110E150	14
‘ДаУР’	№ 9	110E150	13
‘Боярка’	№ 6	111E247	19
‘Памяти Чекурова’	№ 6	111E247	19
‘Басият’	№ 10	78E54	13
‘Башкирская 12’	№ 11	110E10	17
‘Заречная’	№ 12	103E149	13
‘Касар 17’	№ 13	79E148	13
Лют. 21/92	№ 14	110E214	17
‘Московская 82’	№ 15	110E179	14
‘Нива Дона’	№ 16	102E22	13
‘Памяти Кривобочека’	№ 17	78E183	13
‘Памяти Шатилова’	№ 18	70E150	11
‘Приазовье’	№ 19	110E191	17
‘Рубин Дона’	№ 20	70E223	16
‘Табор’	№ 21	78E148	12
‘Штиль’	№ 22	102E54	14
‘Ювента’	№ 23	78E159	14

Примечание: * – фенотип патогена на 29 тестерах вирулентности (14 Yr-линий и 15 сортов-дифференциаторов); ** – раса, определенная по международной номенклатуре на 15 сортах-дифференциаторах; *** – при тестировании на 29 тестерах вирулентности
 Note: * – phenotype of the pathogen on 29 virulence testers (14 Yr lines and 15 differential cultivars); ** – race according to the international abbreviation on 15 differential cultivars; *** – under testing on 29 virulence testers

Principal Coordinates (PCoA)

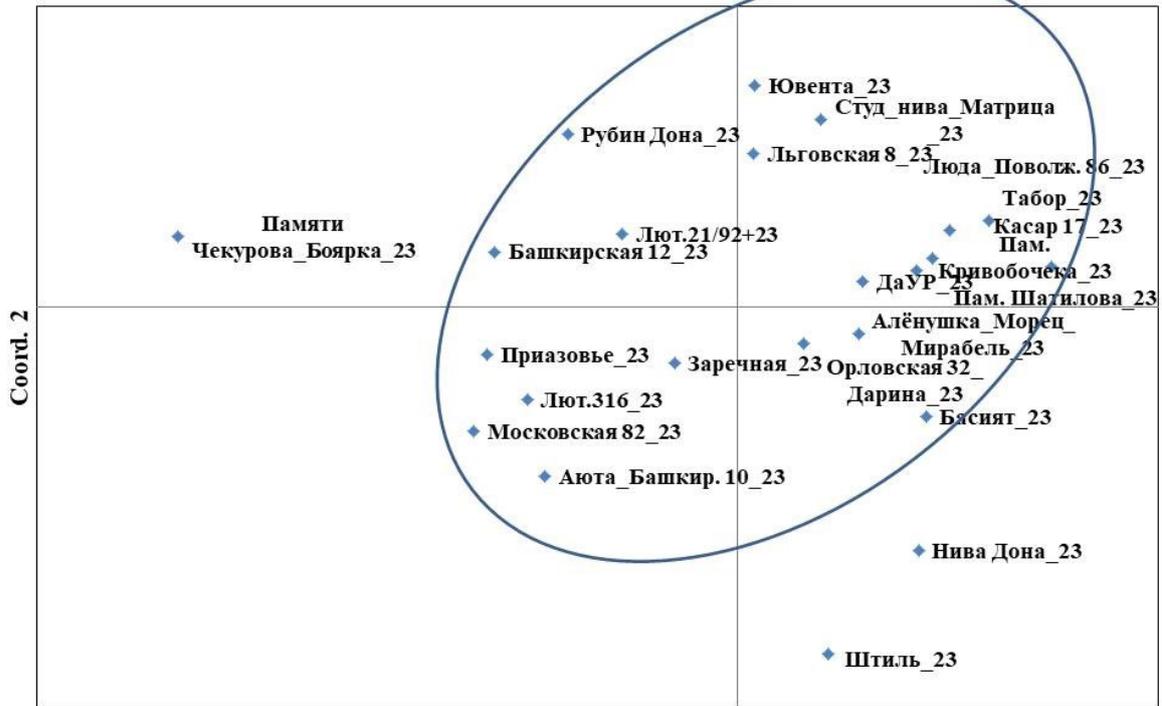


Рис. 2. Генетическое родство между фенотипами *Puccinia striiformis* West. на сортах озимой мягкой пшеницы в Дагестане в 2023 г.

Fig. 2. Genetic similarity among *Puccinia striiformis* West. phenotypes on winter bread wheat cultivars in Dagestan in 2023

Principal Coordinates (PCoA)

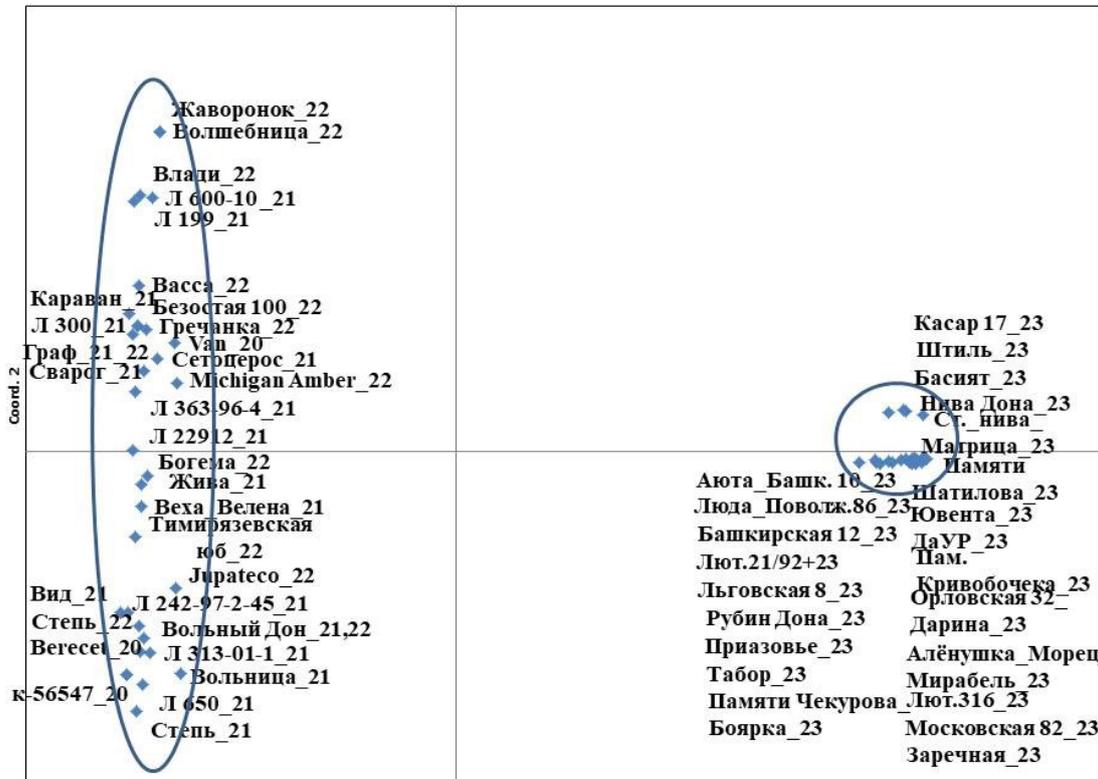


Рис. 3. Генетическое родство между фенотипами *Puccinia striiformis* West. на сортах озимой мягкой пшеницы в Дагестане в 2020–2023 гг.

Fig. 3. Genetic similarity among *Puccinia striiformis* West. phenotypes on winter bread wheat cultivars in Dagestan in 2020–2023

шинство из них сгруппировались в общий кластер. Три фенотипа, выявленных на сортах 'Нива Дона' (№ 16), 'Штиль' (№ 22), 'Боярка' (№ 6) и 'Памяти Чекурова' (№ 6), несколько отличались от этой группы. Фенотип № 6, идентифицированный на сортах 'Боярка' и 'Памяти Чекурова', характеризовался максимальным числом аллелей вирулентности (19). Основным его отличием от других являлась авирулентность к *Yr1* и *YrSp*. Фенотипы гриба с сортов 'Нива Дона' и 'Штиль' имели 13 и 14 аллелей вирулентности соответственно. Между собой они различались вирулентностью к дифференциатору 'Carstens V'.

Генетическое родство между 54 фенотипами, обнаруженными в 2020–2023 гг., показано на рисунке 3. На диаграмме они разделились на две группы. Первая включала все фенотипы 2020–2022 гг., которые в разной степени отличались друг от друга. Вторая группа объединила все фенотипы 2023 г. Полученные результаты указыва-

ют на высокую динамичность дагестанской популяции *P. striiformis*, что обуславливает необходимость проведения ежегодного мониторинга расового состава.

В 2023 г. на естественном инфекционном фоне оценили устойчивость к желтой ржавчине линий и сортов-дифференциаторов. Как и в предыдущие годы (Gulyayeva et al., 2023), симптомы поражения отсутствовали на линиях AvNILsYr5, AvNILsYr10, AvNILsYr15 и сортах 'Moro', 'Compare', 'Carstens' и 'Spaldings Prolific'. На сортах 'Vilmorin 23', 'Heines Peko' и 'Nord Desprez' отмечено поражение только нижнего яруса листьев (5–10%); флаговый и предфлаговый листья были свободны от инфекции. Единичные пустулы (1%) наблюдали на линии AvNILYr7. Развитие болезни от 10 до 20% наблюдали на AvNILsYr1, AvNILsYr7, AvNILsYr18, AvNILYrSp, 'Heines VII' и 'Chinese 166' и 30% на 'Suwon 92/Omar'. Высокое поражение (70–100%) отмечено для всех других дифференциаторов (табл. 5).

Таблица 5. Пораженность линий и сортов дифференциаторов пшеницы возбудителем желтой ржавчины в Дагестане в 2023 г.

Table 5. Yellow rust severity on Yr lines and differential cultivars of wheat in Dagestan in 2023

Yr-ген(ы) / Yr gene (genes)	Линия (сорт) с геном Yr / Line (cultivar) with the Yr gene	Пораженность, % / Disease severity, %
Yr1	Yr1/6*Avocet S	15
Yr5	Yr5/6*Avocet S,	0
Yr6	Yr6/6*Avocet S	100
Yr7	Yr7/6*Avocet S,	20
Yr8	Yr8/6*Avocet S	1
Yr9	Yr9/6*Avocet S	100
Yr10	Yr10/6*Avocet S	0
Yr15	Yr15/6*Avocet S	0
Yr17	Yr17/6*Avocet S	10
Yr18	Yr18/6*Avocet S	5
Yr24	Yr24/6*Avocet S	0
YrSp	YrSP/6*Avocet S	15
Yr27	Yr27/6*Avocet S,	0
Yr1	'Chinese 166'	15
Yr7, Yr+	'Lee'	70
Yr6, Yr2	'Heines Kolben'	70
Yr3, Yr+	'Vilmorin 23'	10/0*
Yr10, YrMor	'Moro'	0
YrSD, Yr25, Yr+	'Strubes Dickkopf'	5/0*

Таблица 5. Окончание
Table 5. The end

Yr-ген(ы) / Yr gene (genes)	Линия (сорт) с геном Yr / Line (cultivar) with the Yr gene	Пораженность, % / Disease severity, %
YrSu, Yr+	'Suwon 92/Omar'	30
Yr4, Yr+	'Hybrid 46'	5
Yr7, Yr+	'Reichersberg 42'	1
Yr2, Yr6, Yr25, Yr+	'Heines Peko'	5/0*
Yr3, YrND, Yr+	'Nord Desprez'	5/0*
Yr8, Yr19	'Compare'	0
Yr32, Yr25, Yr+	'Carstens V'	0
YrSP, Yr+	'Spaldings Prolific'	0
Yr2, Yr25, Yr+	'Heines VII'	5
Восприимчивый контроль	'Jupateco S'	100

Примечание: числитель – пораженность нижнего яруса; знаменатель – пораженность флагового и предфлагового листьев
Note: numerator is the disease severity on the lower tier; denominator is the disease severity on flag and preflag leaves

Заключение

В последние годы возбудитель желтой ржавчины доминирует на коллекционных посевах пшеницы и ее диких родичей на Дагестанской опытной станции ВИР. Это предопределило проведение ежегодного анализа вирулентности *P. striiformis*, который начали в 2020 г. В 2023 г. изучено 60 монопустьльных изолятов гриба и среди них определено 23 фенотипа вирулентности. Только шесть фенотипов встречались на двух и более сортах, остальные были оригинальными, то есть отмечены только на одном сорте. Несмотря на высокое фенотипическое разнообразие, анализ главных координат (PCoA) не выявил существенных различий между ними, что указывает на существование единой клональной популяции на этой территории.

Сравнительный анализ фенотипического состава в 2020–2022 гг. и 2023 г. выявил высокое разнообразие и динамичность дагестанской популяции патогена. Всего в 2020–2023 гг. изучено 139 изолятов гриба и определены 54 фенотипа (расы). Общие расы за четыре года исследований не обнаружены. Образцы *P. striiformis* в 2023 г. существенно отличались от изученных в 2020–2022 гг., что указывает на необходимость проведения ежегодного мониторинга.

За четырехлетний период проанализирован инфекционный материал *P. striiformis*, собранный с 67 образцов *Triticum*, среди которых доминировали российские районированные и перспективные сорта озимой мягкой пшеницы. Показано, что расовый состав, формирующийся на генотипах пшеницы в коллекционных посевах НИИ и на ГСУ, сходен с тем, что будет встречаться в производственных посевах. Результаты анализа вирулентности, полученные в данных исследованиях, могут служить основой для прогноза ситуации с желтой ржавчиной в регионах возделывания данных сортов.

Высокой эффективностью в фазе проростков и взрослых растений характеризуются гены *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24* и *Yr26*. Доноры этих Yr-генов могут быть рекомендованы для использования в селекции на устойчивость к желтой ржавчине. Отмечается нарастание частоты вирулентности к ранее эффективному гену *Yr17*, встречаемость которого у новых российских сортов озимой и яровой мягкой пшеницы заметно возросла. Многолетний анализ вирулентности популяции *P. striiformis* указывает на ограниченный потенциал дифференциаторов с известными Yr-генами для использования в селекции на устойчивость к желтой ржавчине в России, что определяет необходимость расширения исследований по поиску новых доноров устойчивости к желтой ржавчине.

References / Литература

- Bouvet L., Holdgate S., James L., Thomas J., Mackay I.J., Cockram J. The evolving battle between yellow rust and wheat: implications for global food security. *Theoretical and Applied Genetics*. 2022;135(3):741-753. DOI: 10.1007/s00122-021-03983-z
- Brar G.S., Kutcher H.R. Race characterization of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, the cause of wheat stripe rust, in Saskatchewan and Southern Alberta, Canada and virulence comparison with races from the United States. *Plant Disease*. 2016;100(8):1744-1753. DOI: 10.1094/PDIS-12-15-1410-RE
- Chen X., Wang M., Wan A., Bai Q., Li M., López P.F. et al. Virulence characterization of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* collections from six countries in 2013 to 2020. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2021;43 Suppl 2:308-322. DOI: 10.1080/07060661.2021.1958259
- Fontyn C., Zippert A.C., Delestre G., Marcel T.C., Suffert F., Goyeau H. Is virulence phenotype evolution driven exclusively by *Lr* gene deployment in French *Puccinia tritici*

- cina* populations? *Plant Pathology*. 2022;71(7):1511-1524. DOI: 10.1111/ppa.13599
- Gassner G., Straib W. Untersuchungen über die Infektionsbedingungen von *Puccinia glumarum* und *Puccinia graminis*. *Arbeitsergebnissen der Biologischen Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft*. 1928;16(4):609-629. [in German]
- Gulyaeva E., Shaydayuk E. Resistance of modern Russian winter wheat cultivars to yellow rust. *Plants (Basel)*. 2023;12(19):3471. DOI: 10.3390/plants12193471
- Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L., Smirnova R.E., Abdullaev K.M., Kurkiev K.U. Virulence diversity of the yellow rust pathogen population in Dagestan. *Proceedings of Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(4):190-204. [in Russian] [Гульятеева Е.И., Шайдаюк Е.Л., Смирнова Р.Е., Абдуллаев К.М., Куркиев К.У. Разнообразие дагестанской популяции возбудителя желтой ржавчины пшеницы по вирулентности. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(4):190-204]. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-4-190-204
- Hasanova G.M., Rustamov Kh.N. Influence of yellow rust on quality indicators of bread wheat grain (*T. aestivum* L.). *Agrarian science*. 2019;(1):158-161. [in Russian] [Гасанова Г.М., Рустамов Х.Н. Влияние желтой ржавчины на показатели качества зерна пшеницы мягкой (*T. aestivum* L.). *Аграрная наука*. 2019;(1):158-161]. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-158-161
- Hovmøller M.S., Rodriguez-Algaba J., Hansen J.G. Report for *Puccinia striiformis* race analyses 2015, Global Rust Reference Center (GRRRC). Aarhus University, Flakkebjerg, Dk-4200 Slagelse, Denmark. Aarhus: Aarhus University; 2016a. Available from: https://agro.au.dk/fileadmin/Summary_of_Puccinia_striiformis_race_analysis_2015.pdf [accessed Feb. 06, 2025].
- Hovmøller M.S., Walter S., Bayles R.A., Hubbard A., Flath K., Sommerfeldt N. et al. Replacement of the European wheat yellow rust population by new races from the centre of diversity in the near-Himalayan region. *Plant Pathology*. 2016b;65(3):402-411. DOI: 10.1111/ppa.12433
- Karimova A.M. Phytopathological assessment of Azerbaijan origin bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes against yellow rust. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023;(5):16-23. [in Russian] [Каримова А.М. Фитопатологическая оценка влияния желтой ржавчины на генотипы мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) азербайджанского происхождения. *Аграрный научный журнал*. 2023;(5):16-23]. DOI: 10.28983/asj.y2023i5pp16-23
- Kolmer J.A., Kabdulova M.G., Mustafina M.A., Zhemchuzhina N.S., Dubovoy V. Russian populations of *Puccinia triticina* in distant regions are not differentiated for virulence and molecular genotype. *Plant Pathology*. 2015;64(2):328-336. DOI: 10.1111/ppa.12248
- 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;101(8):1522-1532. DOI: 10.1094/PDIS-12-16-1786-RE
- McIntosh R.A., Wellings C.R., Park R.F. Wheat rusts: an atlas of resistance genes. Dordrecht: Kluwer; 1995.
- Mikhailova L.A., Gulyaeva E.I., Mironenko N.V. Methods for studying the structure of populations of the leaf rust causative agent (Metody issledovaniy struktury populyatsii vzbuditelya buroy rzhavchiny pshenitsy). In: *Collection of Plant Protection Guidelines (Sbornik metodicheskikh rekomendatsiy po zashchite rasteniy)*. St. Petersburg: VIZR; 1998. p.105-126. [in Russian] [Михайлова Л.А., Гульятеева Е.И., Мироненко Н.В. Методы исследований структуры популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы. В кн.: *Сборник методических рекомендаций по защите растений*. Санкт-Петербург: ВИЗР; 1998. С.105-126].
- Mini Cyclone Spore Collector. Tallgrass Solutions Inc.: [website]. Available from: https://www.tallgrassproducts.com/mini_cyclone_spore_collector [accessed Feb. 06, 2025].
- Riella V., Rodriguez-Algaba J., García R., Pereira F., Silva P., Hovmøller M.S. et al. New races with wider virulence indicate rapid evolution of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in the Southern Cone of America. *Plant Disease*. 2024;108(8):2454-2461. DOI: 10.1094/PDIS-02-24-0320-RE
- Sharma-Poudyal D., Chen X.M., Wan A.M., Zhan G.M., Kang Z.S., Cao S.Q. et al. Virulence characterization of international collections of the wheat stripe rust pathogen, *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Plant Disease*. 2013;97(3):379-386. DOI: 10.1094/pdis-01-12-0078-re
- Volkova G.V., Kudinova O.A., Matveeva I.P. Virulence and diversity of *Puccinia striiformis* in South Russia. *Phytopathologia Mediterranea*. 2021;60(1):119-127. DOI: 10.36253/phyto-12396
- Zhukovsky P.M. Cultivated plants and their relatives: systematics, geography, cytogenetics, immunity, ecology, origin, utilization (Kulturnye rasteniya i ikh sorodichi: sistematika, geografiya, tsitogenetika, immunitet, ekologiya, proiskhozhdeniye, ispolzovaniye). 3rd ed. Leningrad: Kolos; 1971. [in Russian] [Жуковский П.М. Культурные растения и их сородичи: систематика, география, цитогенетика, иммунитет, экология, происхождение, использование. 3-е изд. Ленинград: Колос; 1971].

Информация об авторах

Елена Ивановна Гульятеева, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, eigulyaeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7948-0307>

Екатерина Львовна Шайдаюк, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, eshaydayuk@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3266-6272>

Кадыр Магомедгаджиевич Абдуллаев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дагестанская опытная станция – филиал ВИР, 368612 Россия, Республика Дагестан, Дербентский район, с. Вавилово, abdullaev.km1950@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5095-1291>

Замира Сейдуллаевна Айдемирова, аспирант, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дагестанская опытная станция – филиал ВИР, 368612 Россия, Республика Дагестан, Дербентский район, с. Вавилово, zamira.aidemirova@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-3573-057X>

Information about the authors

Elena I. Gulyaeva, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, All Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, eigulyaeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7948-0307>

Ekaterina L. Shaydayuk, Cand. Sci. (Biology), Researcher, All Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, eshaydayuk@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3266-6272>

Kadyr M. Abdullaev, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Dagestan Experiment Station – branch of VIR, Vavilovo Village, Derbentsky District 368612, Republic of Dagestan, Russia, abdullaev.km1950@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5095-1291>

Zamira S. Aydemirova, Postgraduate Student, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Dagestan Experiment Station – branch of VIR, Vavilovo Village, Derbentsky District 368612, Republic of Dagestan, Russia, zamira.aidemirova@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-3573-057X>

Вклад авторов: Гультяева Е. И. – концептуализация; методология; фитопатологические исследования; статистическая обработка данных; подготовка статьи. Шайдаюк Е. Л. – фитопатологические исследования; статистическая обработка данных; сбор инфекционного материала *P. striiformis*; подготовка статьи. Абдуллаев К. М., Айдемирова З. С. – изучение мировой коллекции мягкой пшеницы ВИР по устойчивости к болезням; сбор инфекционного материала *P. striiformis*; оценка устойчивости сортов и линий с *Yr*-генами в полевых условиях.

Contribution of the authors: Gulyaeva E. I. – conceptualization; methodology; phytopathological research; statistical data processing; writing of the article. Shaydayuk E. L. – phytopathological research; statistical data processing; collecting of *P. striiformis* infectious material; preparation of the article. Abdullaev K. M., Aydemirova Z. S. – screening of the global bread wheat collection from VIR for disease resistance; collecting of *P. striiformis* infectious material; assessment of the resistance in lines with *Yr* genes in the field.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.02.2025; одобрена после рецензирования 18.04.2025; принята к публикации 23.04.2025. The article was submitted on 05.02.2025; approved after reviewing on 18.04.2025; accepted for publication on 23.04.2025.