

УСТОЙЧИВОСТЬ ОБРАЗЦОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ МИРОВОЙ КОЛЛЕКЦИИ ВИР К *PUCCINIA RECONDITE* В УСЛОВИЯХ ОРЕНБУРГСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Т.А. Тимошенкова, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН, Оренбург, Россия

E-mail: tim2233@mail.ru

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, бурая листовая ржавчина, устойчивость, вирулентность, сортообразец.

Реферат. В условиях степной зоны Оренбургской области актуальна проблема повышения устойчивости зернового производства к абиотическим и биотическим стресс-факторам. Опасным биотическим стрессом для растений пшеницы является бурая листовая ржавчина. При постоянном процессе формообразования в природе необходим поиск источников и доноров устойчивости к патогенам в конкретных условиях региона возделывания для включения в селекционный процесс. С целью изучения особенностей популяции *Puccinia recondite*, исследования генетического разнообразия мировой коллекции яровой мягкой пшеницы и выделения источников устойчивости к бурой листовой ржавчине в условиях степи Оренбургского Предуралья в 2017–2022 гг. проведена полевая оценка 140 образцов. При учёте поражённости бурой ржавчиной использовали методики ВИР и ВИЗР. В исследованиях образцов *P. recondite* установлена распространённость популяций патогенна, вирулентных к генам Lr 1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bq, 3ka, 11, 14a, 14b, 15, 17, 18, 20 и Lr 1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bq, 3ka, 9, 11, 14a, 14b, 15, 17, 18, 20. Данные популяции авирулентны к генам Lr 9, 16, 19, 24, 44 и Lr 16, 19, 24, 44. Высокую ювенильную устойчивость проявили сорта Лавруша, Новосибирская 91, Сибирская 16, ОмГМУ-90 (западно-сибирская экогруппа), Спурт и Тулайковская 108 (лесостепная волжская экогруппа), Ажурная (степная южная экогруппа), Актюбе 3 (степная восточная экогруппа), Хоффман (североамериканская экогруппа) и Челябин 75 (лесостепная восточная экогруппа). В полевых условиях не поражались бурой листовой ржавчиной образцы к-64365 Таёжная нива; к-64867 Новосибирская 44; к-64886 Актюбе 27; к-64976 CDC Merlin; к-64998 Фаворит; к-65006 Хоффман; к-65007 GNS-28; к-65128 Алтайская 110; к-65139 Саратовская 74; к-65145 Волхитка; к-65147 Скороспелка 98; к-65253 Омская 41; к-65269 Pin Chum 11; к-65449 Мерцана и к-65450 Ярица. Выделенные образцы рекомендуют использовать для селекционного улучшения яровой мягкой пшеницы в условиях Оренбургской области.

RESISTANCE OF SAMPLES OF SPRING SOFT WHEAT OF THE WORLD COLLECTION VIR TO *PUCCINIA RECONDITE* B CONDITIONS OF THE ORENBURG CISDURAL REGION

T.A. Timoshenkova, PhD in Agricultural Sciences

Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

E-mail: tim2233@mail.ru

Keywords: spring soft wheat, brown leaf rust, resistance, virulence, variety specimen.

Abstract. In the conditions of the steppe zone of the Orenburg region, the problem of increasing the resistance of grain production to abiotic and biotic stress factors is relevant. A dangerous biotic stress for wheat plants is leaf rust. With the constant process of morphogenesis in nature, it is necessary to search for sources and donors of resistance to pathogens in the specific conditions of the cultivation region for inclusion in the breeding process. To study the characteristics of the *Puccinia recondite* population, the genetic diversity of the world collection of spring soft wheat, and identify sources of resistance to leaf rust in the steppe conditions of the Orenburg Cis-Urals in 2017–2022. A field assessment of 140 samples was carried out. When considering the incidence of leaf rust, we used the methods of VIR (N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Growing) and VIZR (All-Russian Research Institute of Plant Protection). Studies of *P. recondite* samples have established the prevalence of pathogenic populations virulent to the genes Lr 1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bq, 3ka, 11, 14a, 14b, 15, 17, 18, 20 and Lr 1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bq, 3ka, 9, 11, 14a, 14b, 15, 17, 18, 20. These populations are avirulent to the genes Lr 9, 16, 19, 24,

44 and Lr 16, 19, 24, 44. High Juvenile resistance was demonstrated by the varieties Lavrusha, Novosibirskaya 91, Sibirskaia 16, OmGAU-90 (West Siberian eco group), Spurt and Tulaikovskaya 108 (forest-steppe Volga eco group), Azhurnaya (steppe southern eco group), Aktyube 3 (steppe eastern eco group), Hoffman (North American eco group) and Chelyaba 75 (forest-steppe eastern eco group). Under field conditions, samples k-64365 Taiga Niva were not affected by brown leaf rust; k-64867 Novosibirskaya 44; k-64886 Aktobe 27; k-64976 CDC Merlin; k-64998 Favorite; k-65006 Hoffman; k-65007 GNS-28; k-65128 Altaiskaya 110; k-65139 Saratovskaya 74; k-65145 Volkhitka; k-65147 Skorospelka 98; k-65253 Omskaya 41; k-65269 Pin Chum 11; k-65449 Mertsana and k-65450 Yaritsa. The selected samples are recommended for breeding improvement of spring soft wheat in the conditions of the Orenburg region.

В России пшеница была и остаётся одной из главных культур современного аграрного производства. Однако потери урожая от сильных воздействий засух и влияния поражённости болезнями остаются трудно решаемой проблемой. Под влиянием негативных факторов потери могут составлять 30–40%. Совместить в одном сорте устойчивость и высокую продуктивность – сложная задача для селекционеров. Поэтому не теряет актуальности проблема расширения генетического разнообразия сортов яровой мягкой пшеницы, устойчивых как к абиотическим, так и биотическим стресс-факторам. В этих целях необходимо изучение генетического материала разного экологического происхождения для выявления источников с устойчивыми показателями и привлечения его в селекционный процесс.

Одним из наиболее вредоносных биотических стрессоров на Южном Урале является бурая листовая ржавчина, особенно в годы её эпифитотийного проявления [1].

Возбудитель бурой листовой ржавчины (*Puccinia tritici* Eriks.), поражает в основном мягкую пшеницу, а также другие злаковые культуры. Бурая ржавчина относится к группе биотрофов. Гриб является облигатным паразитом, имеет узкую специализацию. В России пшенице вредят свыше 200 биологических рас, различающихся разным уровнем вирулентности.

Вредоносность ржавчины проявляется в снижении ассимиляционной деятельности растений, усилении транспирации, дыхания и нарушении других физиологических и биохимических процессов. Ржавчина нарушает процесс формирования зерна и препятствует образованию глютеиновых компонентов с низкой молекулярной массой, которые влияют на улучшение хлебопекарных свойств муки. Подавляется синтез белка и отложение крахмала, протеина в эндосперме, что обуславливает

щуплость зерна. Всё это сказывается на урожайности и качестве зерна. Недобор урожая достигает 15–20% и более [2, 3].

В.П. Лухменёв [1, 4] отмечает, что поражение ржавчиной снижает массу 1000 зёрён, содержание клейковины, общего азота, фосфора и посевные качества. На бурное развитие ржавчины в регионе существенное влияние оказывает наличие большего количества дней с росой в период вегетации, повышенное увлажнение в июне – июле, влажная, тёплая погода в августе – октябре, а также мягкая снежная зима. Температурные условия в регионе могут обеспечивать эпифитотию ржавчины в любой год, главный лимитирующий фактор – капельно-жидкая влага в виде росы и дождя.

Распространена бурая ржавчина повсеместно во всех регионах возделывания пшеницы. Болезнь поражает листья и их влагалища, в редких случаях стебли. Основным источником инфекции служат дикие злаковые растения, падалища и озимые культуры. Симптомы болезни проявляются в фазы колошения и цветения [5].

Распространённость бурой ржавчины в Российской Федерации изменялась по посевным площадям в период с 2011 по 2020 г. от 522 до 1304 тыс. га, по Уральскому региону – от 30 до 158 тыс. га. Поражение в годы эпифитотий являлось причиной недобора урожая и снижения качества зерна. Современные сорта, которые возделываются на Урале, в Западной Сибири и в Северном Казахстане, в разной степени поражаются бурой ржавчиной листьев [6].

Растения обладают естественным иммунитетом. М.М. Максимович выделял иммунитет родовой, видовой, сортовой, физиологический, структурный и т.д. [7].

На восприимчивость сортов к болезням влияют как агротехнические приёмы, так и факторы внешней среды (температура воздуха, влажность почвы и т.д.). Повышенная влаж-

ность почвы и воздуха, как правило, снижает устойчивость растений к болезням.

Отечественные и зарубежные учёные ведут исследования природы устойчивости новых сортов пшеницы к бурой ржавчине, структуры и изменчивости её популяций, вирулентности современных рас, постоянный поиск доноров и источников с генами устойчивости [8–10].

Успех селекции на устойчивость к ржавчине, прежде всего, определяется исходным материалом (генетическими ресурсами). Для учёных много лет прекрасным генетическим материалом служит мировая коллекция. Коллекционный материал широко используется в выявлении и изучении источников устойчивости и создании более совершенных сортов пшеницы в определённых условиях регионов возделывания [11–14].

В современной науке в исследованиях бурой ржавчины пшеницы всё большее распространение находят молекулярно-генетические подходы. Для идентификации генов устойчивости применяются молекулярные маркеры. В популяционных исследованиях используют RAPD-, AFLP- и SSR-анализы. В ряде работ для скрининга пшеницы применяются SNP-, STS-, SCAR-маркеры [15–20].

Учёными Всероссийского института защиты растений (ВИЗР) на базе длительных исследований оценено разнообразие современных российских сортов мягкой пшеницы по устойчивости к воздействию бурой ржавчины. Установлено, что смена старых сортов на сорта с генами устойчивости позволяет снизить воздействие бурой ржавчины на продуктивность [15].

При помощи оригинального набора вирулентности Л.А. Михайловой [21] определено существование в России и странах СНГ нескольких популяций *Puccinia triticina* Eriks: «европейской, занимающей территорию от северо-западной части РФ до Поволжья; азиатской (Урал, Казахстан, Западная Сибирь); кавказской и дальневосточной».

Для успешной селекции на устойчивость пшеницы к бурой ржавчине наряду с достаточным количеством генетически разнообразных доноров устойчивости к болезни необходимы знания закономерностей изменчивости популяций возбудителя. Разнообразие по генам устойчивости способствует поддержанию высокого

уровня генетической защиты пшеницы. К настоящему времени идентифицировано свыше 77 Lr-генов. Из них устойчивость взрослых растений в полевых условиях обеспечивают Lr12, Lr13, Lr22a, Lr22b, Lr34, Lr35, Lr37, Lr46, Lr48, Lr67 и Lr77. На эффективность Lr-генов существенное влияние оказывает вирулентность региональных популяций возбудителя бурой ржавчины. Так, в экспериментах для условий Западной Сибири выявлена высокая эффективность генов Lr19, Lr24, Lr29, Lr41, Lr42, Lr45, Lr47, Lr51, Lr53 и Lr57 [22–24].

Исследования мировой коллекции разными учёными позволили выделить образцы с генами устойчивости для включения в селекционный процесс. В результате были идентифицированы гены устойчивости у образцов коллекции: Челябин 75 – LrSp; Омская краса – Lr1; Тулайковская 105, Тулайковская 108, Тулайковская 110 – LrAq61 + Lr19; Мария 1 – Lr9 + Lr10; Саратовская 29, Баганская 95, Омская 35, Памяти Афродиты – Lr10, Тулайковская 108 – Lr19 + Lr6Aqi; Омская 37, Омская 41 – Lr19 + Lr26; Василиса, Тризо – Lr20, Новосибирская 31, Геракл – Lr26; Маргарита – Lr49 + Lr34 + Lr10; Мелодия – Lr26 + Lr1, Белянка, Фаворит – LrBel; Александрина – Lr9; Новосибирская 44, Челябин степная – Lr9 + Lr1 + Lr10; Прохоровка – Lr26 + Lr10 + Lr23 и т.д. В разных регионах по комплексной устойчивости к болезням выделены сортообразцы Башкирская 28, Оренбургская 23, Срибнянка, Vombona, Омская 23, Омская 39, Омская 37, Геракл, Лавруша, Челябин степная, Челябин золотистая, Радуга, Саяногорская, Фаворит, Спрут, Актюбе 19, Актюбе 92, Аншлаг, Сюита, Харьковская 30, Кворум, Triso, Ethos, PS-90, AC Cabriel, Jasna. Установлено, что высокий иммунитет к бурой ржавчине в условиях Южного Урала обеспечивает ген LrSp [14, 25–27].

Посевы яровой мягкой пшеницы в Оренбургской области также подвержены сильному влиянию бурой ржавчины. Это наносит существенный ущерб зерновому производству в связи со снижением продуктивности применяемых сортов. Одной из мер борьбы с данной болезнью является внедрение устойчивых сортов.

Цель исследований – изучить особенности популяции *Puccinia recondite* и генетическое разнообразие мировой коллекции пшеницы

в условиях степи Оренбургского Предуралья, выделить источники устойчивости к бурой листовой ржавчине для включения в процесс гибридизации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научную работу проводили в 2017–2022 гг. на опытном поле коллекционного питомника отдела селекции и семеноводства зерновых культур ФГБНУ «Федеральный научный центр биотических систем и агротехнологий Российской академии наук», расположенном в степной зоне Оренбургского Предуралья (Оренбургский район, п. Чебеньки).

Полевую оценку на естественном инфекционном фоне проходили 140 образцов яровой мягкой пшеницы мировой коллекции ВИР. Опытные делянки закладывали в оптимальные сроки для данного региона возделывания (в первой декаде мая) сеялкой ССФК-7. Предшественник – чистый пар. Площадь делянки – 10 м² по типу контрольного питомника. Повторность трехкратная. В качестве стандарта высевали сорт яровой мягкой пшеницы Саратовская 42. Ржавчину учитывали в фазы колошения, образования, налива и созревания зерна. При учёте пораженности бурой ржавчиной использовали методики ВИР и ВИЗР [28, 29].

Лабораторные исследования 86 образцов проводили во Всероссийском научно-исследовательском институте защиты растений (ВИЗР, г. Санкт-Петербург, Пушкин), в лаборатории микологии и фитопатологии.

«Растения выращивали в сосудах с почвой. В фазе первого листа их опрыскивали суспензией спор каждого изолята и популяции в им-

мерсионной жидкости 3М™ Noves 7100. После заражения растения помещали на светоустановку с контролируемыми условиями (температура 20 °С, фотопериод 16 ч день/8 ч ночь). Тип реакции пшеницы определяли по шкале Мейнса и Джексона, где: 0 – отсутствие симптомов некроза без пустул; 1 – очень мелкие пустулы, окружённые некрозом; 2 – пустулы среднего размера, окруженные некрозом или хлорозом; 3 – пустулы среднего размера без некроза; 4 – крупные пустулы без некроза; X – пустулы на одном и том же листе разных типов, присутствуют хлорозы и некрозы. Растения, поражение которых составляло 0–2 балла, относили к устойчивым (R), с баллами 3, 4 – восприимчивым (S), со смешанным типом X – к умеренно восприимчивым (MS)» [24].

Учитывая, что на развитие болезней сильное влияние оказывают условия внешней среды, был проведён анализ метеорологических условий региона исследований (табл.1).

Погодные условия были контрастными. Так, 2017 г. был среднеувлажнённым. Сумма активных температур воздуха за май – август составила 2408,5 °С, сумма осадков – 182,7 мм, ГТК – 0,76. За период вегетации яровой мягкой пшеницы сумма активных температур по сортам менялась от 1098,9 до 1364,9 °С, сумма осадков была равна 120 мм, а гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) изменялся в пределах 0,88–1,09. При этом острозасушливые условия наблюдались в периоды налива – созревания. В первой половине вегетации сочетание температурного и водного режимов благоприятствовало развитию как растений, так бурой листовой ржавчины. В 2017 г. наблюдалась эпифитотия бурой листовой ржавчины.

Таблица 1

Анализ метеорологических условий в годы исследований
Analysis of meteorological conditions during the years of research

Год	Май			Июнь			Июль			Август		
	Декада											
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Среднесуточная температура воздуха, °С												
2017	15,2	13,1	14,6	14,7	18,6	21,2	22,0	22,0	24,2	24,1	21,2	23,7
2018	15,4	17,4	16,9	15,0	17,4	23,8	27,5	24,5	24,6	23,9	20,5	18,8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2019	17,1	18,3	17,9	20,5	19,8	24,2	21,5	24,5	21,9	18,3	20,9	17,4
2020	16,0	12,5	18,1	20,0	19,8	17,6	22,2	27,8	22,6	24,1	16,4	19,9
2021	15,3	21,0	22,9	20,3	23,4	27,2	25,4	22,8	22,0	25,4	23,5	24,2
2022	10,0	11,9	14,1	18,7	19,7	18,9	18,8	25,5	22,3	24,7	21,5	24,5
Норма	13,7	15,4	16,7	18,9	20,8	21,7	22,2	21,7	22,3	21,1	20,0	18,6
<i>Сумма осадков, мм</i>												
2017	7,0	6,0	14,0	34,0	46,0	8,0	3,0	9,0	0,0	5,0	0,7	0,0
2018	1,0	36,0	11,0	11,0	0,0	3,0	6,0	11,0	22,0	1,0	9,0	0,0
2019	0,9	8,0	2,0	24,0	2,0	0,8	24,0	6,4	8,0	14,0	6,0	6,0
2020	5,7	31,4	6,1	3,7	0,0	14,6	0,0	9,7	14,7	9,6	26,1	0,0
2021	0,0	1,5	4,6	7,1	0,8	6,0	0,7	2,8	11,5	0,0	0,0	0,0
2022	3,0	40,9	86,2	10,8	0,6	10,0	39,0	0,0	58,0	0,6	0,0	0,0
Норма	12,0	12,0	13,0	14,0	15,0	15,0	16,0	15,0	15,0	11,0	10,0	10,0
<i>Гидротермический коэффициент (ГТК)</i>												
2017	0,46	0,46	0,87	2,31	2,47	0,38	0,14	0,41	0,00	0,21	0,03	0,00
2018	0,06	2,07	0,59	0,73	0,00	0,13	0,22	0,45	0,81	0,04	0,44	0,00
2019	0,05	0,44	0,10	1,17	0,10	0,03	1,12	0,26	0,33	0,77	0,29	0,31
2020	0,36	2,51	0,31	0,19	0,00	0,83	0,00	0,35	0,59	0,40	1,59	0,00
2021	0,00	0,07	0,18	0,35	0,03	0,22	0,03	0,12	0,48	0,00	0,00	0,00
2022	0,30	3,44	5,56	0,58	0,03	0,53	2,07	0,0	2,36	0,02	0,00	0,00

Для 2018 г. были характерны засушливые условия. Сумма активных температур воздуха с мая по август составляла 2517,3 °С, осадков выпало всего 111 мм. За период вегетации яровой пшеницы сумма активных температур воздуха составила 1610,2–1651,5 °С, сумма осадков – 79 мм. Величина гидротермического коэффициента 0,43. Развития бурой ржавчины практически не наблюдалось.

За вегетационный период в 2019 г. сумма активных температур воздуха изменялась от 1780,7 до 2060,2 °С, количество осадков составляло 87,2–96,2 мм, ГТК 0,46–0,47. Сумма активных температур от посева до всходов изменялась от 108,6 до 144,8 °С, в период «всходы – колошение» – от 739,8 до 899,3 °С, «колошение – созревание» – от 844,1 до 1072,0 °С. Этот год был для развития растений засушливым, наблюдалось крайне неравномерное выпадение осадков. Поражение ржавчиной выявлено на ряде сортов/образцов.

По полученным метеоданным, 2020 г. также был засушливым. Сумма активных температур

в период май–август была равна 2430,6 °С, сумма осадков – 121,6 мм, гидротермический коэффициент – 0,50. Наблюдалось слабое развитие исследуемого патогена.

Особенностью 2021 г. были экстремально засушливые условия. Сумма активных температур воздуха – май – август составила 2811,9 °С, осадков – 35 мм, ГТК – 0,12. За период вегетации пшеницы сумма температур воздуха была в пределах 1577,0 – 1807,8 °С. Атмосферных осадков выпало 28,9 мм. На этом фоне ГТК равнялся 0,16–0,18. Осадков в период вегетации практически не выпадало. Развитие болезни не выявлено. На посевах пшеницы отмечена пустоколосость и гибель растений в фазу колошения.

Влажным был лишь 2022 г. Сумма активных температур в период с мая по август составила 2366,9 °С, осадков – 249,1 мм, ГТК – 1,05. В период развития пшеницы сумма температур равнялась 1621,8–1909,2 °С, осадков – 121,7–122,9 мм, ГТК – 0,64–0,76. Сильного проявления бурой ржавчины не отмечено.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В научной литературе указывается, что устойчивость зерновым культур к ржавчинам проявляется во всех фазах онтогенеза (в фазу всходов отмечается ювенильная устойчивость) или только как возрастная устойчивость у взрослых растений [24, 25, 29]. Поэтому для объективной оценки образцов яровой мягкой пшеницы проводились исследования как в полевых условиях на взрослых растениях, так и на проростках в лаборатории.

На протяжении 6 лет в полевых условиях степи Оренбургского Предуралья нами были изучены образцы мировой коллекции мягкой пшеницы отечественной и зарубежной селекции. Образцы по происхождению мы распределили на экологические группы: лесная северорусская, лесостепная западно-сибирская, лесная восточно-сибирская, лесостепная восточная, степная волжская, лесостепная волжская, китайская, североамериканская, степная южная и степная восточная.

Для данной статьи нами был отобран отрезок научной работы с коллекционным материалом, который является малым звеном будущей докторской работы.

Коллекционные образцы яровой мягкой пшеницы на естественном инфекционном фоне в разной степени поражались бурой ржавчиной листьев. В изученных экологических группах наблюдалась сильная вариация по устойчивости к ржавчине (табл. 2). Так, в 2017 г. отмечено наибольшее развитие болезни (эпифитотия). В лесостепной западно-сибирской, степной юж-

ной и степной восточной группах иммунитет к данному патогену показали 9,1% образцов пшеницы; в лесной северорусской, лесной восточно-сибирской, лесостепной восточной и китайской группах – 18,2%; в лесостепной волжской и североамериканской – 37,5% и в степной волжской – 57,1%. Сильная степень поражения выявлена в степной восточной и североамериканской группах. В данных группах 62,5–63,6% образцов пшеницы имели 4-балльное поражение бурой ржавчиной. В 2018–2020 гг. наблюдалось слабое развитие болезни, были поражены отдельные сортообразцы мировой коллекции пшеницы. В 2021 г. при экстремально засушливых условиях бурая ржавчина находилась в депрессивном состоянии. В 2022 г. поражались отдельные образцы мягкой пшеницы в лесостепной волжской, степной восточной и лесостепной восточной экологических группах.

В результате полевого обследования установлено, что не поражались бурой листовой ржавчиной следующие сорта: к-65449 Мерцана (лесная северорусская группа); к-65128 Алтайская 110, к-64867 Новосибирская 44, к-65253 Омская 41 (лесостепная западно-сибирская группа); к-65145 Волхитка, к-64365 Таёжная нива (лесная восточно-сибирская группа); к-65139 Саратовская 74, к-64998 Фаворит (степная волжская группа); к-65450 Ярица (лесостепная волжская группа); к-65007 GNS-28, к-65269 Pin Chum 11 (китайская группа); к-65147 Скороспелка 98 (степная южная группа); к-64886 Актюбе 27 (степная восточная группа); к-64976 CDC Merlin, к-65006 Hoffman (североамериканская группа).

Таблица 2

Степень поражения образцов мировой коллекции бурой ржавчиной листьев
Degree of damage to samples from the world collection by leaf rust

Экологическая группа	2017 г.		2018 г.		2019 г.		2020 г.		2021 г.		2022 г.	
	балл	%	балл	%	балл	%	балл	%	балл	%	балл	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Лесная северорусская	0–4	0–40	0	0	0–1	0–2	0	0	0	0	0	0
Лесостепная западно-сибирская	0–4	0–75	0–2	0–15	0–3	0–30	0–1	0–5	0	0	0	0
Лесная восточно-сибирская	0–4	0–75	0	0	0–2	0–10	0	0	0	0	0	0
Степная волжская	0–4	0–60	0	0	0–2	0–10	0–2	0–10	0	0	0	0
Лесостепная волжская	0–4	0–100	0–1	0–3	0	0	0–2	0–10	0	0	0–1	0–5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Китайская	0–4	0–50	0	0	0–2	0–30	0	0	0	0	0	0
Степная южная	0–4	0–50	0	0	0–2	0–20	0	0	0	0	0	0
Степная восточная	0–4	0–55	0	0	0–2	0–25	0	0	0	0	0–2	0–15
Североамериканская	0–4	0–70	0	0	0–2	0–20	0	0	0	0	0	0
Лесостепная восточная	0–4	0–70	0	0	0	0	0–1	0–5	0	0	0–2	0–15

Ранее в процесс гибридизации в качестве родительских форм были включены образцы коллекции: к-64998 Фаворит, к-65006 Hoffman, к-64886 Актюбе 27, к-64867 Новосибирская 44, к-65123 ФПЧ-Prd-s0, к-65101 Воронежская 10, к-64101 Воронежская 12, Саратовская 64, Саратовская 29, Прохоровка, Белянка, к-64897 Tybalt, к-64872 Челябинская степная, к-64866 Лубнинка, к-65143 Челябинская золотистая, к-64879 Соановская 5, Саратовская 55, к-65465 Lr B, к-64887 Степная 2, к-65120 Геракл. На данном этапе научной работы, полученные гибридные формы изучаются в селекционных питомниках по классической схеме.

Во Всероссийском научно-исследовательском институте защиты растений был проведён анализ 86 сортов для изучения ювенальной устойчивости к бурой листовой ржавчине в фазу проростков, а также проведён ПЦР-анализ для

характеристики популяций *P. recondite*, распространённых в степи Оренбургского Предуралья. В качестве материалов для исследования послужили высушенные под прессом листья и семена.

Изучение популяций бурой листовой ржавчины, выделенных на образцах к-48114, Саратовская 42 (наиболее распространённый сорт в сельскохозяйственном производстве региона) и к-65811, Long Chum 7 (сорт китайской селекции), показало их разную вирулентность. Так в исследованиях образцов *P. recondite* установлена распространённость популяций патогена вирулентных к генам устойчивости Lr 1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bq, 3ka, 11, 14a, 14b, 15, 17, 18, 20 и Lr 1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bq, 3ka, 9, 11, 14a, 14b, 15, 17, 18, 20. Данные популяции авирулентны к генам устойчивости Lr 9, 16, 19, 24, 44 и Lr 16, 19, 24, 44 (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика образцов популяций *P. recondite* Оренбургской области
Characteristics of samples of *P. recondite* populations in the Orenburg region

№ п/п	Образец	Вирулентность	Авирулентность
1	к-48114 Саратовская 42	Lr 1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bq, 3ka, 11, 14a, 14b, 15, 17, 18, 20	Lr 9, 16, 19, 24, 44
2	к-65811 Long Chum 7	Lr 1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bq, 3ka, 9, 11, 14a, 14b, 15, 17, 18, 20	Lr 16, 19, 24, 44

Лабораторные опыты показали, что при искусственном заражении бурой листовой ржавчиной в фазу проростков в экологических группах выделяются образцы с разным типом реакции: устойчивые, умеренно восприимчивые и восприимчивые (табл. 4). В лесной северорусской экологической группе все исследованные образцы были восприимчивы к патогену (тип реакции 3 балла). Исключение составили образцы Мерцана с умеренной восприимчивостью (тип реакции 2 балла) и Ленинградская 6 с сильной восприимчивостью (тип реакции 4 балла).

Образцы пшеницы лесной восточно-сибирской экологической группы были восприимчивы к ржавчине (тип реакции 3–4 балла). В лесостепной западно-сибирской экологической группе 82,8% образцов имели поражение патогеном на уровне 3–4 балла. В данной группе выделены образцы: Лавруша, ОмГАУ-90 и Сибирская 16 с поражением 0–1 балла, Новосибирская 91 с поражением 1–2 балла и Лубнинка – 3 балла. В лесостепной волжской экологической группе степень поражения колебалась в пределах 0–4 балла. Устойчивыми были Спурт и Тулайков-

ская 108 (тип реакции 0–1 балл). В лесостепной восточной экологической группе образец Челябинская степная поражен в умеренной степени (2–3 балла) и Челябинская 75 был устойчив (0–1 балл). Из степной волжской экологической группы образцы Саратовская 66 и Саратовская 68 имели поражение 2 балла. Остальные изученные сортообразцы были сильновосприимчивыми к бурой ржавчине (4 балла). В степной восточной экологической группе у образца Актюбе 3 поражение ржавчиной составило 0–1 балл и у образца Актюбе 27 – 2–3 балла. Другим образцам данной группы было характерно сильное поражение патогеном (3–4 балла). Из степ-

ной южной экологической группы выделяется Ажурная с поражением 1–2 балла и Срібнянка – 2–3 балла. Сортообразцы китайской группы были восприимчивы к бурой ржавчине (3–4 балла), кроме CNS-28 с умеренной восприимчивостью (2–3 балла). В североамериканской группе устойчивостью выделяется Hoffman (0–1 балл). Другие образцы в данной группе имели восприимчивость 3 балла.

Таким образом, устойчивые сортообразцы пшеницы выявлены в лесостепной западно-сибирской, лесостепной волжской, степной южной, степной восточной, североамериканской и лесостепной восточной группах.

Таблица 4

Восприимчивость экологических групп пшеницы к бурой ржавчине в фазу проростков
Susceptibility of ecological groups of wheat to leaf rust in the seedling phase

Экологическая группа	Тип реакции к патогену, баллов
Лесная северорусская	2–4
Лесная восточно-сибирская	3–4
Лесостепная западно-сибирская	0–4
Лесостепная волжская	0–4
Лесостепная восточная	0–4
Степная волжская	2–4
Степная восточная	0–4
Степная южная	1–4
Североамериканская	0–4
Китайская	2–4

Высокую ювенильную устойчивость в результате искусственного заражения проростков проявили сорта Лавруша, Новосибирская 91, Сибирская 16, ОмГАУ-90 (западно-сибирская группа), Спурт и Тулайковская 108 (лесостепная волжская группа), Ажурная (степная южная группа), Актюбе 3 (степная восточная группа), Hoffman (североамериканская группа) и Челябинская 75 (лесостепная восточная группа), а 97,6% исследованных образцов имели поражения патогеном от средней до сильной степени.

ВЫВОДЫ

1. Популяции *P. recondite*, распространённые в степной зоне Оренбургского Предуралья, отличаются авирулентностью к генам Lr 9, 16, 19, 24, 44 и Lr 16, 19, 24, 44. Данную особен-

ность популяций патогена следует учитывать в селекционной работе.

2. В лабораторных и полевых экспериментах у образцов мировой коллекции ВИР яровой мягкой пшеницы, установлена разная степень проявления иммунитета к популяциям бурой ржавчины листьев пшеницы распространённым в степи Оренбургского Предуралья.

3. Высокая устойчивость в фазу проростков отмечена у сортообразцов Ажурная, Актюбе 3, Лавруша, Новосибирская 91, ОмГАУ-90, Сибирская 16, Спурт, Тулайковская 108, Челябинская 75 и Hoffman.

4. В полевых условиях не поразились бурой листовой ржавчиной образцы к-64365 Таёжная нива, к-64867 Новосибирская 44, к-64886 Актюбе 27, к-64976 CDC Merlin, к-64998 Фаворит, к-65006 Hoffman, к-65007 GNS-28, к-65128 Алтайская 110, к-65139 Саратовская 74, к-65145

Волхитка, к-65147 Скороспелка 98, к-65253 Омская 41, к-65269 Pin Chum 11, к-65449 Мерцана и к-65450 Ярица.

5. Выделившиеся по устойчивости к бурой листовой ржавчине сортообразцы коллекции ФИЦ ВИГРР (ВИР) можно рекомендовать для

селекции на повышение иммунитета пшеницы в степной зоне Оренбургского Предуралья.

За помощь в проведении лабораторных исследований выражаю большую благодарность Е.И. Гульяевой, доктору биотических наук (Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лухменёв В.П.* Защита зерновых культур от вредителей болезней и сорняков на Южном Урале. – Оренбург: Изд. центр ОГАУ, 2000. – С. 44–57.
2. *Пересыпкин В.Ф.* Болезни зерновых культур. – М.: Колос, 1979. – 280 с.
3. *Колесниченко Т.В.* Анализ вредоносности и распространённости бурой ржавчины в Краснодарском крае на 2018–2022 // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 90–4. – С. 17–19.
4. *Лухменёв В.П.* Разработка интенсивной технологии возделывания зерновых культур, кукурузы на зерно в юго-западной зоне Оренбургской области // Обзор результатов научных исследований по защите растений в научных учреждениях Европейской части РСФСР за 1988 год: Информация ВНИИЗР. – Воронеж, 1988. – С. 36.
5. *Структура* популяций листовых патогенов яровой пшеницы в западно-азиатских регионах России и Северном Казахстане в 2017 г. / Е.И. Гульяева, Н.М. Коваленко, В.П. Шаманин [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2018. – Т. 22, № 3. – С. 363–369. – DOI: 10.18699/VJ18.372.
6. *Кекало А.Ю., Зарганян Н.Ю., Немченко В.В.* Распространение фитопатогенов на зерновых яровых культурах в Уральском регионе // Аграрный вестник Урала. – 2022. – № 11 (226). – С. 14–22.
7. *Максимович М.М.* Селекция и семеноводство полевых культур. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 408 с.
8. *Структура* российских популяций гриба *Puccinia tritici Eriks* / Е.И. Гульяева, Е.Л. Шайдаюк, И.А. Казарцев [и др.] // Вестник защиты растений. – 2015. – № 3 (85). – С. 5–10.
9. *Рипбергер Е.И., Боме Н.А., Траутц Д.* Устойчивость к листовым фитопатогенам гибридных (F_4F_5) форм яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в различных эколого-географических условиях // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2016. – Т. 20, № 5. – С. 629–635. – DOI: 10.18699/VJ16.184.
10. *Источники и доноры* для селекции яровой пшеницы на устойчивость к стрессорным факторам среды / Ю.В. Зеленева, В.П. Судникова, В.В. Плахотник [и др.] // Вопросы современной науки и практики. – 2017. – № 3 (65). – С. 17–25.
11. *Кочмарский В.С., Хоменко С.О., Федоренко И.В.* Оценка коллекционных образцов пшеницы мягкой по устойчивости к листовым грибным болезням в лесостепи Украины // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2015. – № 51. – С. 320–326.
12. *Маркелова Т.С.* Скрининг мирового генофонда яровой пшеницы по устойчивости к бурой ржавчине и идентификация LR-генов у некоторых сортов и селекционных линий // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 5. – С. 18–21.
13. *Писарев В.В., Зуев Е.В., Брыкова А.Н.* Исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Новосибирской области // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2018. – № 7 (22). – С. 784–794.
14. *Исходный материал* для селекции мягкой пшеницы в условиях Кировской области / О.С. Амунова, Л.В. Волкова, Е.В. Зуев [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2021. – Т. 22, № 5. – С. 661–675. – DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.5.661-675.
15. *Гульяева Е.И., Казарцева И.А.* Молекулярно-генетические подходы в изучении популяций возбудителя бурой ржавчины пшеницы // Вестник защиты растений. – 2018. – № 2 (96). – С. 5–12.
16. *Identification of leaf rust resistance genes in selected wheat cultivars and development of multiplex PCR* / A. Tomkowiak, R. Skowrońska, A. Buda [et al.] // Open Life Sciences. – 2019. – Vol. 14 (1). – P. 327–334. – DOI: 10.1515/boil-2019-0036.

17. *Genome-wide association mapping for resistance to leaf, stem, and yellow rusts of common wheat under field conditions of South Kazakhstan* / Y. Genievskaya, Y. Turuspekov, A. Rsaliyev, S. Abugalieva // *Peer J*. – 2020. – Vol. 8. – P. 9820. – DOI: 10.7717/peerj.9820.
18. *Breeding Wheat for Durable Leaf Rust Resistance in Southern Africa: Variability, Distribution, Current Control Strategies, Challenges and Future Prospects* / S. Figlan, K. Ntushelo, L. Mwadzingeni [et al.] // *Front Plant Sci*. – 2020. – Vol. 11. – P. 549. – DOI: 10.3389/fpls.2020.00549.
19. *Mining of leaf rust resistance genes content in Egyptian bread wheat collection* / M.A.M. Atia, E.A. El-Khateeb, R.M. Abd El-Maksoud [et al.] // *Plants*. – 2021. – Vol. 10 (7). – P. 1378. – DOI: 10.3390/plants10071378.
20. *Harnessing genetic resistance to rusts in wheat and integrated rust management methods to develop more durable resistant cultivars* / J. Mapuranga, N. Zhang, L. Zhang [et al.] // *Front Plant Sci*. – 2022. – Vol. 13. – P. 951095. – DOI: 10.3389/fpls.2022.951095.
21. Михайлова Л.А. Генетика взаимоотношений возбудителя бурой ржавчины и пшеницы / под. ред. акад. РАСХН М.М. Левитина. – СПб.: ВИЗР, 2006. – 80 с.
22. Фенотипический состав *Puccinia triticina* на образцах мягкой пшеницы в Омской области в 2016 г. / Е.И. Гульяева, В.П. Шаманин, Е.Л. Шайдаюк [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2017. – № 2 (43). – С. 16–23.
23. Гульяева Е.И., Шайдаюк Е.Л. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у новых российских сортов мягкой пшеницы // *Биотехнология и селекция растений*. – 2021. – Т. 4, № 2. – С. 15–27. – DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-02.
24. Разнообразие новых российских сортов мягкой пшеницы по генам устойчивости к бурой ржавчине / Е.И. Гульяева, Е.Л. Шайдаюк, В.В. Веселова [и др.] // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. – 2022. – Т. 183, № 4. – С. 208–218. – DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-208-218.
25. Сидоров А.В., Лебедева Т.В., Тырышкин Л.Г. Эффективная ювенильная устойчивость сортов яровой пшеницы к листовой ржавчине и мучнистой росе // *Известия Петербургского государственного аграрного университета*. – 2018. – № 2 (51). – С. 84–88.
26. Сочалова Л.П., Пискарев В.В. Устойчивость образцов мягкой пшеницы к *Blumeria graminis* и *Puccinia recondita* с известными генами устойчивости // *Достижения науки и техники АПК*. – 2019. – Т. 33, № 11. – С. 34–42. – DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11108.
27. Селекция яровой мягкой пшеницы на устойчивость к листостебельным болезням на Южном Урале / Е.И. Гульяева, В.А. Тюнин, Е.Р. Шрейдер [и др.] // *Российская сельскохозяйственная наука*. – 2021. – № 1. – С. 8–12. – DOI: 10.31857/S2500262721020026.
28. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале: метод. указания / А.Ф. Мережко [и др.]. – СПб., 1999. – 82 с.
29. Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам: метод. пособие / Е.Е. Радченко [и др.]. – М.: РАСХН, 2008. – С. 5–31.

REFERENCES

1. Lukhmenov V.P., *Zashchita zernovykh kul'tur ot vreditel'nykh bolezney i sornyakov na Yuzhnom Urale* (Protection of grain crops from pests, diseases and weeds in the South Urals), Orenburg: OSAU Publishing Centre, 2000, pp. 44–57.
2. Peresypkin V.F., *Bolezni zernovykh kul'tur* (Diseases of cereal crops), Moscow: Kolos, 1979, 280 p.
3. Kolesnichenko T.V., *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*, 2022, No. 90–4, pp. 17–19. (In Russ.)
4. Lukhmenov V.P., *Obzor rezul'tatov nauchnykh issledovaniy po zashchite rasteniy v nauchnykh uchrezhdeniyakh Evropeyskoy chasti RSFSR za 1988 god: Informatsiya VNIIZR* (Review of the results of scientific research on plant protection in scientific institutions of the European part of the RSFSR for 1988: Information from VNIIZR), Voronezh, 1988, p. 36. (In Russ.)
5. Gulyaeva E.I., Kovalenko N.M., Shamanin V.P. [et al.], *Vavilovskiy zhurnal seleksii i genetiki*, 2018, Vol. 22, No. 3, pp. 363–369, DOI: 10.18699/VJ18.372. (In Russ.)
6. Kekalo A.Yu., Zarganyan N.Yu., Nemchenko V.V., *Agrarnyy vestnik Urala*, 2022, No. 11 (226), pp. 14–22. (In Russ.)
7. Maksimovich M.M., *Selektsiya i semenovodstvo polevykh kul'tur* (Selection and seed production of field crops), Moscow: Selkhozizdat, 1962, 408 p.

8. Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L., Kazartsev I.A. [et al.], *Vestnik zashchity rasteniy*, No. 3 (85), pp. 5–10. (In Russ.)
9. Ripberger E.I., Bome N.A., Trautz D., *Vavilovskiy zhurnal seleksii i genetiki*, 2016, Vol. 20, No. 5, pp. 629–635, DOI: 10.18699/VJ16.184. (In Russ.)
10. Zeleneva Yu.V., Sudnikova V.P., Plakhotnik V.V. [i dr.], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki*, 2017, No. 3 (65), pp. 17–25. (In Russ.)
11. Kochmarsky V.S., Khomenko S.O., Fedorenko I.V., *Zemledelie i selektsiya v Belarusii*, 2015, No. 51, pp. 320–326. (In Russ.)
12. Markelova T.S., *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*, 2016, No. 5, pp. 18–21. (In Russ.)
13. Pisarev V.V., Zuev E.V., Brykova A.N., *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii*, 2018, No. 7 (22), pp. 784–794. (In Russ.)
14. Amunova O.S., Volkova L.V., Zuev E.V. [et al.], *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2021, Vol. 22, No. 5, pp. 661–675, DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.5.661-675. (In Russ.)
15. Gulyaeva E.I., Kazartseva I.A., *Vestnik zashchity rasteniy*, 2018, No. 2 (96), pp. 5–12. (In Russ.)
16. Tomkowiak A., Skowrońska R., Buda A., Kurasiak-Popowska D., Na-wracala J., Kowalczewski L., Pluta M., Radzikowska D., Identification of leaf rust re-sistance genes in selected wheat cultivars and development of multiplex PCR, *Open Life Sciences*, 2019, Vol. 14 (1), pp. 327–334, DOI: 10.1515/boil-2019-0036.
17. Genievskaia Yu., Turuspekova Ye., Rsaliyev A., Abugalieva S., Genome-wide association mapping for resistance to leaf, stem, and yellow rusts of common wheat under field conditions of South Kazakhstan, *Peer J.*, 2020, Vol. 8, pp. 9820, DOI: 10.7717/peerj.9820.
18. Figlan S., Ntushelo K., Mwandzingeni L. [et al.], Breeding Wheat for Durable Leaf Rust Resistance in Southern Africa: Variability, Distribution, Current Control Strategies, Challenges and Future Prospects, *Front Plant sci*, 2020, Vol. 11, pp. 549, DOI: 10.3389/fpls.2020.00549.
19. Atia M.A.M., El-Khateeb E.A., Abd El-Maksoud R.M., Abou-Zeid M.A., Salah A., Abdel-Hamid A.M.E., Mining of leaf rust resistance genes content in Egyptian bread wheat collection, *Plants*, 2021, Vol. 10 (7), pp. 1378, DOI: 10.3390/plants10071378.
20. J. Mapuranga, N. Zhang, L. Zhang [et al.], Harnessing genetic resistance to rusts in wheat and integrated rust management methods to develop more durable cultivars, *Front Plant Sci.*, 2022, Vol. 13, pp. 951095, DOI: 10.3389/fpls.2022.951095.
21. Mikhailova L.A., *Genetika vzaimootnosheniy vozbuditelya buroy rzhavchiny i pshenitsy* (Genetics of the relationship between the causative agent of brown rust and wheat), Sankt-Petersburg: VIZR, 2006, 80 p.,
22. Gulyaeva E.I., Shamanin V.P., Shaydayuk E.L. [et al.], *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2017, No. 2 (43), pp. 16–23. (In Russ.)
23. Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L., *Biotehnologiya i selektsiya rasteniy*, 2021. V. 4 No. 2. P.15-27. DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-02. (In Russ.)
24. Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L., Veselova V.V. [et al.], *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii*, 2022, Vol. 183, No. 4, pp. 208–218, DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-208-218. (In Russ.)
25. Sidorov A.V., Lebedeva T.V., Tyryshkin L.G., *Izvestiya Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, No. 2 (51), pp. 84–88. (In Russ.)
26. Sochalova L.P., Piskarev V.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2019, Vol. 33, No. 11, P. 34–42, DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11108. (In Russ.)
27. Gulyaeva E.I., Tyunin V.A., Schreider E.R. [et al.], *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*, 2021, No. 1, pp. 8–12, DOI: 10.31857/S2500262721020026. (In Russ.)
28. Merezko A.F. [et al.], *Popolnenie, sokhranenie v zhivom vide i izuchenie mirovoy kolleksii pshenitsy, egilopsa i tritikale* (Replenishment, preservation in living form and study of the world collection of wheat, egiops and triticales), Sankt-Petersburg, 1999, 82 p.
29. Radchenko E.E. [i dr.], *Popolnenie, sokhranenie v zhivom vide i izuchenie mirovoy kolleksii pshenitsy, egilopsa i tritikale* (Study of the genetic resources of grain crops for resistance to pests), Mjscow: RAAS, 2008, P. 5–31.