

Создание сортов яровой твердой пшеницы, устойчивых к стеблевой ржавчине в Западной Сибири

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-131-138

УДК 633.11 «321»:632.4:631.526.32(571.1) (574.2)

Поступление/Received: 17.05.2020

Принято/Accepted: 12.5.2021



В. С. ЮСОВ*, М. Г. ЕВДОКИМОВ,
Л. В. МЕШКОВА, Д. А. ГЛУШАКОВ

Омский аграрный научный центр,
644012 Россия, г. Омск, пр. Королева, 26

* ✉ vs_ysov@rambler.ru

Development of spring durum wheat cultivars resistant to stem rust in Western Siberia

V. S. YUSOV, M. G. EVDOKIMOV,
L. V. MESHKOVA, D. A. GLUSHAKOV

Omsk Agrarian Scientific Center,
26 Koroleva Ave., Omsk 644012, Russia

* ✉ vs_ysov@rambler.ru

Актуальность. Стеблевая ржавчина пшеницы, вызываемая биотрофным грибом *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Eriks. et Henn., – опасное заболевание, наносящее серьезный экономический ущерб возделыванию твердой пшеницы.

Материалы и методы. Объектом исследований служили сорта и перспективный материал, созданный в лаборатории селекции яровой твердой пшеницы ФГБНУ «Омский АНЦ», а также линии, полученные по программам СИММИТ, КАСИБ, и образцы коллекции ВИР. Полевые опыты, фенологические наблюдения, оценку устойчивости к стеблевой ржавчине проводили на опытных полях института на протяжении 1990–2019 гг. по общепринятым методикам. Устойчивость к расе Ug99 оценивали на естественном инфекционном фоне на поле Института фитопатологии в Кении.

Результаты. Выделен перспективный исходный материал, который используется в селекционной программе лаборатории. Показано создание устойчивых сортов яровой твердой пшеницы для условий Западной Сибири. Предложена стратегия отбора генотипов в гибридных комбинациях, особенностью которой является: ранний отбор (начиная с F₂) по устойчивости к болезням одновременным отбором по количественным признакам и макаронным качествам. Представлена характеристика и преимущества переданного в 2018 году на Государственное испытание сорта «Омский коралл», сочетающего высокую продуктивность, адаптивность, устойчивость к местной популяции возбудителя стеблевой ржавчины и расе Ug99, с отличными макаронными свойствами.

Заключение. В результате этих исследований, на фоне сильного проявления стеблевой ржавчины в Западной Сибири во всех селекционных питомниках имеется материал, устойчивый к омской популяции *P. graminis*. Созданы сорта «Омская янтарная», «Омский изумруд», обладающие устойчивостью к омской популяции возбудителя стеблевой ржавчины.

Ключевые слова: *Triticum durum*, патоген, селекция, коллекция.

Background. Stem rust of wheat, caused by the biotrophic fungus *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Eriks. et Henn., is a dangerous disease that afflicts serious economic damage to the cultivation of durum wheat.

Materials and methods. Cultivars and promising materials developed at the Spring Durum Wheat Breeding Laboratory, Omsk Agrarian Scientific Center (OASC), lines obtained under the CIMMYT and KASIB programs, and accessions from the VIR collection were the objects of research. Field experiments, phenological observations, and assessment of stem rust resistance were carried out from 1990 through 2019 in the OASC experimental fields using conventional methods. Resistance to the Ug99 race was evaluated under natural infection pressure at the Kenya Agricultural and Livestock Research Organization (KALRO).

Results. Promising source material was identified and included in the Laboratory's breeding program. The ways were shown to develop stable cultivars of spring durum wheat for the environments of Western Siberia. A strategy was proposed for the selection of genotypes in hybrid combinations of spring durum wheat: it would include early selection (starting from F₂) for disease resistance with simultaneous screening for quantitative traits and pasta-making qualities. The description and advantages of cv. 'Omsky korall', submitted to the State Variety Trials in 2018, are presented. This cultivar combines high yield, adaptability, resistance to the local population and the Ug99 race of the stem rust pathogen, and excellent pasta-making qualities.

Conclusion. As a result of these studies under heavy stem rust pressure in Western Siberia, all breeding nurseries obtained source material resistant to the Omsk population of *P. graminis*. The released cultivars 'Omskaya yantarnaya' and 'Omsky izumrud' demonstrate resistance to the Omsk population of the stem rust causative agent.

Key words: *Triticum durum*, pathogen, selection, collection.

Введение

Зерно твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) – незаменимое сырье для производства высококачественных макарон, кондитерских изделий, круп, а также для получения ценного детского питания. Традиционно основными регионами производства высококачественного зерна яровой твердой пшеницы в России являются Западная Сибирь, Алтайский Край, Южный Урал и Поволжье.

Основной ареал твердой пшеницы в Западной Сибири – степная и южная лесостепная зоны. Это регион рискованного земледелия, с дефицитом осадков, с проявлением различных типов засухи. В отдельные годы существенный урон наносят болезни. Поэтому стабильность урожайности и качества зерна зависит во многом от складывающихся погодных условий, технологии возделывания, использования адаптивных, устойчивых к болезням сортов. В последние годы в Западной Сибири, наряду с традиционными болезнями твердой пшеницы (бурая ржавчина, мучнистая роса, септориоз, твердая и пыльная головня и др.), наблюдаются эпифитотии стеблевой ржавчины (Meshkova 2006; Yusov et al., 2018a, 2018b; Gulyaeva et al., 2020). Наряду с этим существует опасность проникновения из стран Ближнего Востока и Средней Азии вредоносной расы стеблевой ржавчины Ug99 (Уганда 99), названной так по месту ее первого обнаружения на Африканском континенте (Shamanin et al., 2015; Shamanin et al., 2016; Rsaliyev A.S., Rsaliyev Sh.S., 2018). В 2015 г. в Омской области и соседних с ней районах Казахстана эпифитотия стеблевой ржавчины пшеницы охватила более 1 млн га пашни. Повторилась ситуация и в 2016 г., хотя и в несколько меньшем масштабе; патоген был обнаружен на всех обследованных полях Северо-Казахстанской области, вследствие чего отмечалось заметное снижение не только урожайности, но и качества зерна (Lapochkina et al., 2016; Rsaliyev et al., 2018).

Цель данной работы – показать создание устойчивых сортов яровой твердой пшеницы к стеблевой ржавчине для условий Западной Сибири.

Материал и методы

Объектом исследований служили сорта и перспективный материал твердой пшеницы, созданный в лаборатории селекции твердой пшеницы ФГБНУ «Омский АНЦ», а также генофонд сортов и линий, полученный по программам СИММИТ, КАСИБ (Казахстанско-Сибирская сеть улучшения яровой пшеницы) и из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). За годы исследований (1990–2019 гг.) было изучено около 4 тысяч образцов из мирового генофонда. Фенологические наблюдения, оценка устойчивости к стеблевой ржавчине (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Eriks. et Henn.) проводились на опытных полях института в полном соответствии с требованиями и рекомендациями (Fedin, 1985; Kovalenko et al., 2012).

Оценку развития стеблевой ржавчины делали по принятой в СИММИТ шкале, (Koishybayev, 2014). Учитывали тип поражения и степень поражения по модифицированной шкале (Stakman et al., 1962; Roelfs et al., 1992): 0 – иммунитет, уредопустулы не образуются; R (Resistant – высокая устойчивость), 5–10%; MR (Moderately resistant – средняя устойчивость), 10–25%; M (ретерогенный тип), пустулы различного размера, окруженные хлоротическими и некротическими пятнами или без них; MS (Moderately susceptible – средняя вос-

приимчивость), степень поражения 40–50%; S (Susceptible – восприимчивость), поражения более 60%. Общую комбинационную способность (ОКС) и специфическую комбинационную способность (СКС) рассчитывали по методикам V. G. Volf et al. (1980) и G. K. Dremlyuk, V. F. Gerasimenko (1992).

В системе полных топкроссов в качестве материнских форм использовались: 'Омская янтарная', 'Омский корунд', 'Жемчужина Сибири', Гордеиформе 95-139-3, Гордеиформе 98-96-3, 'Омский рубин'; отцовских – 'Омский кристалл', 'Омская степная', 'Безенчукская степная'. В системе неполных топкроссов были использованы в качестве материнских форм 'Жемчужина Сибири', 'Омская степная', 'Омский изумруд', Гордеиформе 01-115-5, 'Омская бирюза', а в качестве отцовских – 'Лавина', Гордеиформе 06-5-3, Гордеиформе 08-55-5, Гордеиформе 08-94-3, 'Триада', Леукурум 1560д18.

Неспецифическую устойчивость определяли в полевых условиях по скорости нарастания болезни, рассчитывая площадь кривой развития болезни (ПКРБ). На основе ПКРБ определяли индекс устойчивости (ИУ) сортов, который определяется как соотношение ПКРБ у тестируемого сорта и восприимчивого контроля ($IУ = \frac{ПКРБ_c}{ПКРБ_r}$). На основании ИУ сорта разделяются на группы: высокоустойчивые ($IУ = 0,10-0,35$), среднеустойчивые ($IУ = 0,36-0,65$), с низкой устойчивостью ($IУ = 0,66-0,80$) и с высокой восприимчивостью ($IУ > 0,81$) (Wilcoxson et al., 1975; Makarov et al., 2003). Устойчивость селекционного материала к расе Ug99 (ТТКСК) оценивали на естественном инфекционном фоне Института фитопатологии в Кении (Kenya Agricultural and Livestock Research Organization).

Результаты и обсуждение

В период с 1990 по 2009 год в полевых условиях наблюдалось периодическое поражение сортов твердой пшеницы стеблевой ржавчиной. Динамика поражения сортов твердой пшеницы стеблевой ржавчиной в Омской области представлена на рисунке. С 2009 года тренд поражения идет на увеличение, и в последние годы оно становится регулярным. Возрастает минимальное поражение, что косвенно подтверждает усиление вредоносности данного заболевания, обусловленное изменением популяционного состава патогена и формированием новых высоковирулентных биотипов.

Создание генотипов, устойчивых к болезням, было всегда одним из приоритетных направлений омской селекции. Проблему устойчивости к стеблевой ржавчине решали несколькими путями: в первую очередь использовали ранее найденные доноры и источники устойчивости, а также выявляли новые с эффективными генами и включали их в гибридизацию. Однако из большого разнообразия изученных генотипов лишь небольшая часть в наших условиях представляет селекционную ценность для использования в гибридизации. С 1990 по 2000 год были выделены устойчивые к стеблевой ржавчине образцы различных видов пшеницы из коллекции ВИР: к-537, к-859, к-5173, к-7529, к-43953, к-54208, к-54532, 'Агат' (Россия); к-7349 (Германия); к-10055 (Израиль); к-10946, к-16496 (Тунис); к-13895, к-18969, к-18971 (Эфиопия); к-14541 (Турция); к-46115 (Алжир); к-46520 (Чили); к-46744 (Франция); к-47117, к-56846, к-58720 (Мексика); к-44429, к-58715 (США) (Evdokimov, 2006). Включением в гибридизацию образца к-5173 (*T. dicoccon* (Schrank) Schuebl.) был создан сорт 'Омская янтарная', который в годы эпифито-

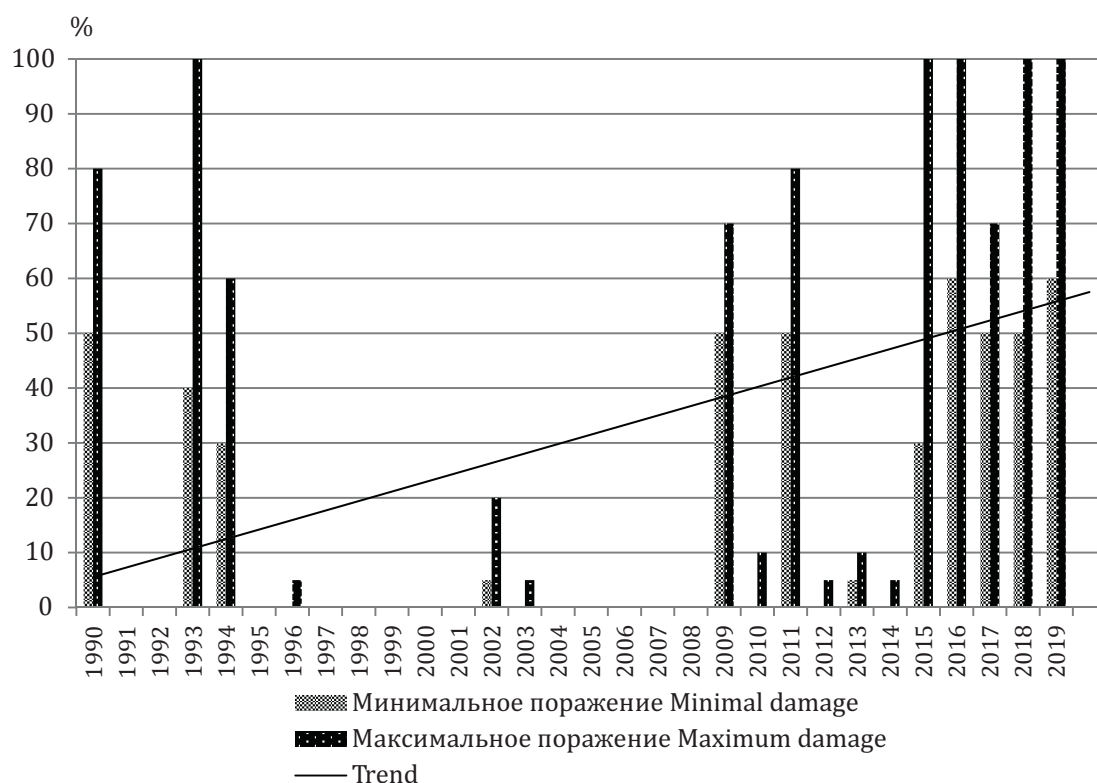


Рисунок. Динамика поражения твердой пшеницы возбудителем стеблевой ржавчины в условиях южной лесостепи Омской области (1990–2019 гг.)

Figure. Dynamics of durum wheat damage by stem rust in the southern forest-steppe of Omsk Province (1990–2019)

тий за счет скороспелости уходит от инфекционной нагрузки. Образец к-5173 также присутствует в родословной сортов 'Омская степная' и 'Омский изумруд'. С участием мексиканской линии твердой пшеницы к-47117 был создан сорт 'Омский корунд'. Однако в последние годы, в связи с изменением популяционного состава патогена, он поражается в сильной степени. В период 2000–2007 гг. были изучены линии и сорта *T. durum*, полученные в рамках сотрудничества с СИММИТ. Все изученные образцы значительно уступают по адаптивности отечественным сортам. Однако среди многообразия изученного материала выявлены формы, представляющие интерес по натуре зерна, макаронным свойствам, устойчивости к бурой и стеблевой ржавчине, твердой головне, мучнистой росе. За этот период изучено 1440 образцов, из которых по устойчивости выделены образцы со следующими родословными: Auk/Guil//Green; Dipper 2/Bushen 3; Rascon 37/Green 2; Wizza 23/Cona; Green 38/Bushen 4; Dack/Kiwi/Oste 3; Srn3/Ajata 15; Parva 2/Kitti 1; Lhuke/Rascon/Cona; Fulvous 1/Meowl 3; Rascon37//2*Tarro 2; Sora 2/Plata 12; Plata 8/4/Garza/Afn//Cra//3gta/5/Rascon; Dipper_2/Bush-ek 3; Dack/Kiwi//Oste/3/Chen84_1/4/Mexi75/5; D86135/Ac08t//Porraqn4; Boomer 24/Ajaia 9//Plata 3; Eth-LrwhA1-18tC74//3*Altar 34; Pod11/Yazi1; Rascon37/Boomer20.

С 1999 г. и по настоящее время реализуется международная программа КАСИБ, основная цель которой – повышение эффективности селекции яровой пшеницы в Северном Казахстане и Сибири. За период существования программы было изучено 210 образцов. В качестве источников устойчивости к омской популяции возбудителя стеблевой ржавчины представляют интерес образцы Гордеиформе 03-20-18, 'Омская янтарная', 'Омский изумруд', Гордеиформе 04-85-4, Гордеиформе 05-42-12, Гордеиформе 08-67-1, Гордеиформе 08-107-5 (ФГБНУ

«Омский АНЦ»), Каргала 28, Каргала 303, Каргала 1412, Каргала 1514, Каргала 1516/06 (Актюбинская СХОС); 653д44, 688д-4, 'Триада', 1560д18 (Самарский НИИСХ); Дурум 49, Гордеиформе 69-08-5, Гордеиформе 178-05-2, Линия 250-06-14 (НПЦЗХ им. А.И. Бараева); Линия № 9 (Карабалыкская СХОС). Оценка устойчивости к расе Ug99 в Кении показала, что основной набор генотипов восприимчив к стеблевой ржавчине споражением от 20 до 100% и типом поражения М, MSS и S. Относительной устойчивостью обладают 13 генотипов (табл. 1).

В последние годы, в связи с распространением агрессивной расы возбудителя стеблевой ржавчины Ug99, в рамках международного сотрудничества мы отправляем селекционный материал для оценки в Кении и этот же набор генотипов изучаем по устойчивости к местной популяции патогена (табл. 2).

Ученые GRRC определили, что расы *P. graminis* в Омской области имеют необычную вирулентность по сравнению с расами, распространенными в других азиатских и африканских странах. Расы Ug99 и ее биотипов в регионе не обнаружено, а раса ТТТТФ, выделенная из популяции 2016 года, отличается от «сицилийской» ТТТТФ (Novmøller, 2017). За период с 2016 по 2019 год выделено 12 образцов, устойчивых как к популяции Ug99, так и к местной популяции: Гордеиформе 09-66-1, 'Омский лазурит', Гордеиформе 09-73-1, Гордеиформе 10-32-1, Гордеиформе 10-32-3, Гордеиформе 10-35-2, Гордеиформе 10-63-1, Гордеиформе 11-45-13, Гордеиформе 11-47-1, Гордеиформе 12-11-5, Гордеиформе 12-48-1, Гордеиформе 10-71-3.

Зачастую при скрещиваниях устойчивость к стеблевой ржавчине не всегда передается потомству, а также многие образцы имеют низкую адаптивность к условиям Западной Сибири. Поэтому перед включением генотипов

Таблица 1. Перспективные образцы, устойчивые к расе Ug99 возбудителя стеблевой ржавчины
Table 1. Promising accessions resistant to the Ug99 race of the stem rust pathogen

Линия	Оригинатор	Поражение %, тип поражения
Омский изумруд	ФГБНУ «Омский АНЦ»	5R
Гордеиформе 05-42-12		20MS
Омский коралл		0-5R
Лавина	НПЦЗХ им. А.И. Бараева	10M
Гордеиформе 69-08-2		5R
Гордеиформе 178-05-2		10M
Каргала 1514	Актюбинская СХОС	20M
P-1409		5R
Гордеиформе 2383,	Карабалыкская СХОС	15M
Гордеиформе 1790		5MR
Сеймур 17	КазНИИЗиР	5MR
Леукурум 1970д-5	Самарский НИИСХ	5R
Гордеиформе 748	ФАНЦА	5M

Таблица 2. Количество перспективных образцов, устойчивых к стеблевой ржавчине
Table 2. Number of promising accessions resistant to stem rust

Годы	Число образцов, устойчивых к	
	расе Ug99	местной популяции
2016	6	2
2017	9	8
2018	7	11
2019	9	17

в гибридизацию необходимо изучить их по комплексу хозяйственно ценных признаков и в местных условиях выявить их донорские свойства.

Анализ комбинационной способности по устойчивости к стеблевой ржавчине показал: в годы с умеренным проявлением болезни вклад в изменчивость ОКС у гибридов преимущественно вносится аддитивными генами материнских форм, а в годы эпифитотий преимущество имеют аддитивные гены отцовских и материнских форм. Таким образом, устойчивость может передаваться как от материнской, так и отцовской формы (табл. 3). По результатам оценки эффектов ОКС в качестве доноров устойчивости к омской популяции *P. graminis* рекомендуются сорта: 'Триада', 'Лавина', Гордеиформе 08-94-3, Гордеиформе 01-115-5, 'Омский изумруд', а к расе Ug99 – 'Омская янтарная', 'Жемчужина Сибири', Гордеиформе 98-96-3, 'Безенчукская степная'.

Достаточно высокие коэффициенты наследуемости $H^2 = 0,719-0,790$ и $h^2 = 0,438-0,630$ позволяют проводить отбор на устойчивость при благоприятных условиях, начиная с F_2 .

На основании ранее проведенных генетических исследований (Evdokimov, 2006; Yusov, 2008; Yusov, Evdokimov, 2008; Yusov et al., 2012) нами предложена стратегия

отбора генотипов в гибридных комбинациях яровой твердой пшеницы. В основу отбора заложен следующий принцип:

– ранний отбор (начиная с F_2) по устойчивости к бурой, стеблевой ржавчине, пыльной и твердой головне, мучнистой росе в комбинациях с источниками и донорами устойчивости;

– по признакам, имеющим простое наследование (окраска колоса, остистость, окраска зерна), отбор проводится с учетом особенностей характера наследования: доминантного признака в F_1 или более поздних поколениях, рецессивного – в F_2 . Ранний отбор (F_2) – по количественным признакам: высота растений, длина верхнего междоузлия, длина колоса, длина остей, продуктивная кустистость (в засушливых условиях), количество колосков в колосе, масса 1000 зерен, содержание белка, качество клейковины, содержание каротиноидных пигментов, макаронные качества.

Такой принцип мы считаем реальным и правомочным при целенаправленных скрещиваниях, когда необходимо улучшить отдельный количественный признак. Как правило, в комбинациях предусматривается скрининг по совокупности признаков. В этом случае мы вынуждены прибегать к повторяющемуся отбору (F_3-F_4) (по

Таблица 3. Анализ комбинационной способности твердой пшеницы по устойчивости к стеблевой ржавчине
Table 3. Analysis of the combining ability in durum wheat in the context of its resistance to stem rust

Источник изменчивости	Ug99		Омская популяция <i>Puccinia graminis</i> / Omsk population of <i>Puccinia graminis</i>							
	2009 F ₁		2017 F ₁		2018 F ₂		2019 F ₂		2019 F ₃	
	MS	%	MS	%	MS	%	MS	%	MS	%
ОКС ♀ GCA ♀	117,01	27,19	1,11	56,3	166	49,81	21,24	37,8	10,36	24
ОКС ♂ SCA ♂	233,68	54,30	0,26	12,5	115	30,85	28,73	51,15	26,8	56,32
СКС RE	76,60	17,80	0,55	26,1	48,8	13,14	1,74	6,7	6,82	14,33

Примечание: достоверно с 5-процентным уровнем значимости
 Note: F-test level of significance is 5%

качественным и количественным признакам), а также если отбор идет по признакам с разной степенью наследуемости (красная окраска колоса, натура зерна). В позднем поколении (F₅) – отбор по признакам: короткостебельность, продуктивная кустистость (во влажные годы), длина колоса (во влажные годы), длина остей (во влажные годы), число зерен в колосе, масса зерна в колосе, урожайность.

В селекционных питомниках проводится негативный отбор, который заключается в том, что менее урожайные, с проявлением болезней линии при полевой оценке выбраковываются. В ранних питомниках этот отбор более жесткий с тем, чтобы не переполнять излишним объемом последующие этапы селекции.

Все эти мероприятия привели к тому, что, начиная с 2017 года, увеличивается количество устойчивых линий в селекционных питомниках на 15–20%.

В 2018 году был передан на Государственное испытание сорт 'Омский коралл' (Гордеиформе 04-85-4), сочетающий в себе высокую продуктивность, адаптив-

ность, устойчивость к стеблевой ржавчине местной популяции и расе Ug99, с отличными макаронными свойствами. По результатам исследований ВИЗР в этом сорте идентифицирован ген *Sr28*, эффективный против расы Ug99. Сорт выведен внутривидовой гибридизацией и индивидуальным отбором из гибридной популяции от скрещивания сорта 'Омская янтарная' и линии, полученной по программе с СИММИТ, Pod11/Yazi 1. В полевых условиях 2017–2019 гг. наблюдалось сильное развитие стеблевой ржавчины. Сорт 'Омский коралл' в меньшей степени поражен *P. graminis* (от 10 до 30%), у сорта-стандарта 'Жемчужина Сибири' – от 70 до 90%, у сорта 'Саратовская 29' – от 90 до 100% (табл. 4). Одним из перспективных направлений защиты растений от ржавчинных болезней считается возделывание сортов, характеризующихся более медленным и слабым развитием болезни (slow rusting). Индекс устойчивости сорта 'Омский коралл' – от 0,054 до 0,166, что соответствует группе высокоустойчивых по сравнению со стандартами.

Таблица 4. Поражение сортов твердой пшеницы омской популяцией *Puccinia graminis* на естественном инфекционном фоне (экологическое испытание 2017–2019 гг.)
Table 4. Damage of durum wheat cultivars by the Omsk population of *Puccinia graminis* under natural infection pressure (environmental trials of 2017–2019)

Сорт	2017 г.			2018 г.			2019 г.		
	Мах поражение, %	ПКРБ / AUDPC	ИУ / IR	Мах поражение, %	ПКРБ / AUDPC	ИУ / IR	Мах поражение, %	ПКРБ / AUDPC	ИУ / IR
Омская янтарная	50MS	720	0,321	50MS	676	0,287	100S	2570	0,666
Жемчужина Сибири (стандарт)	90S	880	0,393	70S	1006	0,428	90S	1987	0,515
Омский коралл	5 R	120	0,054	10MR	137	0,058	30MR	640	0,166
Омская 38	30 MR	320	0,142	50MS	676	0,287	50MR	1360	0,352
Саратовская 29	90S	2240	1,000	100S	2350	1,000	100S	3855	1,000

Примечание: ПКРБ – площадь кривой развития болезни; ИУ – индекс устойчивости
 Note: AUDPC – area under the disease progression curve; IR – index of resistance

Заключение

Проблеме устойчивости к болезням и, в частности, к стеблевой ржавчине в селекционных программах СибНИИСХ (ныне Омский АНЦ) уделялось всегда особое внимание. Итогом этой деятельности является то, что в настоящее время на фоне сильного проявления стеблевой ржавчины во всех селекционных питомниках имеется материал, устойчивый комской популяции *Puccinia graminis*, а начиная с СП-3 – и к расе Ug99. Созданы сорта 'Омская янтарная', 'Омский изумруд', обладающие устойчивостью комской популяции возбудителя стеблевой ржавчины. В 2018 году был передан на Государственное испытание сорт 'Омский коралл' (Гордеиформе 04-85-4), сочетающий в себе высокую продуктивность, адаптивность к климатическим условиям Западной Сибири, устойчивость к местной популяции *P. graminis* и Ug99, с отличными макаронными свойствами. Сорт выведен внутривидовой гибридизацией и индивидуальным отбором из гибридной популяции от скрещивания сорта 'Омская янтарная' и линии Pod11/Yazi 1, полученной по программе с СИММИТ.

Работа выполнена по заданию № 0797-2019-0008 «Создание новых сортов пшеницы озимой, яровой мягкой и твердой с улучшенными сложными, экономически значимыми свойствами (продуктивность и качество), повышенной устойчивостью к грибным болезням, биотическим и абиотическим факторам среды». Направление науки X 10.4. Растениеводство, н. 150 программы ФНИ Госакадемий на 2013–2020 гг.

The work was carried out under Assignment No. 0797-2019-0008 "Developing new cultivars of winter wheat, spring and durum wheat with improved complex and economically significant properties (productivity and quality), and higher resistance to fungal diseases, biotic and abiotic environmental factors". Research Direction X 10.4. Crop Production, n. 150 of the Federal Scientific Research Program for the State Academies for 2013–2020.

References / Литература

Dremlyuk G.K., Gerasimenko V.F. Methods for the analysis of combining ability for occasional crossings (Priemy analiza kombinatsionnoy sposobnosti dlya neregulyarnykh skreshchivaniy). Moscow: Agropromizdat; 1992. [in Russian] (Дремлюк Г.К., Герасименко В.Ф. Приемы анализа комбинационной способности для нерегулярных скрещиваний. Москва: Агропромиздат; 1992).

Evdokimov M.G. Spring durum wheat breeding in the south of Western Siberia (Seleksiya yarovoy tverdoy pshenitsy v usloviyakh yuga Zapadnoy Sibiri) [dissertation]. Omsk; 2006. [in Russian] (Евдокимов М.Г. Селекция яровой твердой пшеницы в условиях юга Западной Сибири: дис. ... докт. с.-х. наук. Омск; 2006).

Fedin M.A. (ed.). Methodology for state crop variety trials. Issue 1: General provisions (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Vypusk 1: Obshchaya chast). Moscow; 1985. [in Russian] (Федин М.А. и др. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск 1. Общая часть / под ред. М.А. Федина. Москва; 1985).

Gulyaeva, E., Yusov V., Rosova M., Mal'chikov P., Shaydayuk E., Kovalenko N. et al. Evaluation of resistance of spring durum wheat germplasm from Russia and Kazakhstan to fungal foliar pathogens. *Cereal Research Communications*. 2020;48(2):71-79. DOI: 10.1007/s42976-019-00009

Hovmøller M.S. GRRC report: Samples of stem rust infected wheat from Russia. Aarhus: Aarhus University; 2017. 01/2017. Available from: https://agro.au.dk/fileadmin/Country_report_Russia_-_August2017.pdf [accessed July 14, 2020].

Koishybayev M. Wheat diseases. Ankara: FAO; 2018. [in Russian] (Койшыбаев М. Болезни пшеницы. Анкара: ФАО; 2018). URL: <http://uni-sz.bg/truni11/wp-content/uploads/biblioteka/file/TUNI10042659.pdf> [дата обращения: 07.07.2020].

Kovalenko E.D., Kolomiets T.M., Kiseleva M.I., Zhemchuzhina A.I., Smirnova L.A., Shcherbik A.A. Methods for evaluation and selection of source material while developing wheat cultivars resistant to brown rust: Guidelines of the All-Russian Research Institute of Phytopathology (Metody otsenki i otbora iskhodnogo materiala pri sozdanii sortov pshenitsy, ustoychivyykh k buroy rzhavchine: metodicheskiye rekomendatsii VNIIF). Moscow; 2012. [in Russian] (Коваленко Е.Д., Коломиец Т.М., Киселева М.И., Жемчужина А.И., Смирнова Л.А., Щербик А.А. Методы оценки и отбора исходного материала при создании сортов пшеницы устойчивых к бурой ржавчине: методические рекомендации ВНИИФ. Москва; 2012).

Lapochkina I.F., Baranova O.A., Shamanin V.P., Volkova G.V., Gainullin N.R., Anisimova A.V. et al. The development of initial material of spring common wheat for breeding for resistance to stem rust (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici*), including race Ug99, in Russia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(3):320-328. [in Russian] (Лапочкина И.Ф., Баранова О.А., Шаманин В.П., Волкова Г.В., Гайнуллин Н.Р., Анисимова А.В. и др. Создание исходного материала яровой мягкой пшеницы для селекции на устойчивость к стеблевой ржавчине (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici*), в том числе и к расе UG99, в России. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(3):320-328). DOI: 10.18699/VJ16.167

Makarov A.A., Kovalenko E.D., Solomatin D.A., Matorina N.M. Methods of field and laboratory assessment of non-specific plant resistance to diseases (Metody polevoy i laboratornoy otsenki nespetsificheskoy ustoychivosti rasteniy k boleznyam). In: *Types of Disease Resistance in Plants. Proceedings of the Scientific Workshop (Typy ustoychivosti rasteniy k boleznyam. Materialy nauchnogo seminara)*. St. Petersburg; 2003. p.17-24. [in Russian] (Макаров А.А., Коваленко Е.Д., Соломатин Д.А., Маторина Н.М. Методы полевой и лабораторной оценки неспецифической устойчивости растений к болезням. В кн. *Типы устойчивости растений к болезням. Материалы научного семинара*. Санкт-Петербург; 2003. С.17-24).

Meshkova L.V. Strategy for developing cereal crop cultivars resistant to fungal pathogens (Strategiya sozdaniya sortov zernovykh kultur, ustoychivyykh k gribnym patogenam). In: *Plant Breeding for Resistance to Biotic and Abiotic Environmental Factors: Proceedings of the Scientific and Methodological Conference (Krasnoyarsk, July 12–13, 2005) (Seleksiya na ustoychivost rasteniy k bioticheskim i abioticheskim faktoram sredy: materialy nauchno-metodicheskoy konferentsii (Krasnoyarsk,*

- 12–13 iyulya 2005 g.). Novosibirsk; 2006. p.82-98. [in Russian] (Мешкова Л.В. Стратегия создания сортов зерновых культур, устойчивых к грибным патогенам. В кн.: *Селекция на устойчивость растений к биотическим и абиотическим факторам среды: материалы научно-методической конференции. (Красноярск, 12–13 июля 2005 г.)*. Новосибирск; 2006. С.82-98).
- Roelfs A.P., Singh R.P., Saari E.E. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. Mexico: CIMMYT; 1992. Available from: <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1153/38487.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [accessed Aug. 6, 2020].
- Rsaliev A.S., Rsaliev Sh.S. Principal approaches and achievements in studying race composition of wheat stem rust. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(8):967-977. DOI: 10.18699/VJ18.439
- Shamanin V.P., Morgunov A.I., Petukhovskiy S.L., Likhenko I.E., Levshunov M.A., Salina E.A., Pototskaya I.V., Trushchenko A.Yu. Spring soft wheat breeding for resistance to stem rust in Western Siberia: a monograph (Seleksiya yarovoy myagkoy pshenitsy na ustoychivost k stebel'noy rzhavchine v Zapadnoy Sibiri: monografiya). Omsk; 2015. [in Russian] (Шаманин В.П., Моргунов А.И., Петуховский С.Л., Лихенко И.Е., Левшунов М.А., Салина Е.А., Потоцкая И.В., Трущенко А.Ю. Селекция яровой мягкой пшеницы на устойчивость к стеблевой ржавчине в Западной Сибири: монография. Омск; 2015).
- Shamanin V., Salina E., Wanyera R., Zelenskiy Y., Olivera P., Morgounov A. Genetic diversity of spring wheat from Kazakhstan and Russia for resistance to stem rust Ug99. *Euphytica*. 2016;212(2):287-296. DOI: 10.1007/s10681-016-1769-0
- Stakman E.C., Steward D.M., Loegering W.Q. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. Washington, DC: USDA-ARS; 1962.
- Volf V.G., Litun P.P., Khaveleva A.V., Kuzmenko R.I. Methodological recommendations for the use of mathematical methods for the analysis of experimental data in the study of combining ability (Metodicheskiye rekomendatsii po primeneniyu matematicheskikh metodov dlya analiza eksperimentalnykh dannykh pri izuchenii kombinatsionnoy sposobnosti). Kharkov; 1980. [in Russian] (Вольф В.Г., Литун П.П., Хавелова А.В., Кузьменко Р.И. Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных при изучении комбинационной способности. Харьков; 1980).
- Wilcoxson R.D., Skovmand B., Atif A.H., Evaluation of wheat cultivars ability to retard development of stem rust. *Annals of Applied Biology*. 1975;80(3):275-281. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1975.tb01633.x
- Yusov V.S. Combining ability in durum wheat by the color of the pasta in the conditions of Western Siberia (Kombinatsionnaya sposobnost sortov tverдой pshenitsy po tsvetu makaron v usloviyakh Zapadnoy Sibiri). In: *Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference for Young Scientists (Trudy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh)*. Kemerovo; 2008. p.151-153. [in Russian] (Юсов В.С. Комбинационная способность сортов твердой пшеницы по цвету макарон в условиях Западной Сибири. В кн.: *Труды III Международной научно-практической конференции молодых ученых*. Кemerovo; 2008. С.151-153).
- Yusov V.S., Evdokimov M.G. Combining ability of durum wheat varieties for lodging resistance traits under West Siberian conditions. *Russian Agricultural Sciences*. 2008;34(4):215-218. DOI: 10.3103/S1068367408040022
- Yusov V.S., Evdokimov M.G., Meshkova L.V. Sources of durum wheat disease resistance in Western Siberia. In: *Improvement of Crop Farming Systems: Plant Breeding and Seed Production, Adaptive and Landscaping Approach, Modern Agricultural Technologies. Proceedings of the Scientific and Practical Conference, August 1–3, 2018, Krasnoyarsk (Sovershenstvovaniye sistem zemledeliya: seleksiya i semenovodstvo, adaptivno-landshaftny podkhod, sovremennyye agrotekhnologii. Materialy Nauchno-prakticheskoy konferentsii-seminara, 1–3 avgusta 2018 g., Krasnoyarsk)*. Krasnoyarsk; 2018a. p.94-101. [in Russian] (Юсов В.С., Евдокимов М.Г., Мешкова Л.В. Источники устойчивости твердой пшеницы к болезням в Западной Сибири. В кн.: *Совершенствование систем земледелия: селекция и семеноводство, адаптивно-ландшафтный подход, современные агротехнологии. Материалы научно-практической конференции-семинара, 1–3 августа 2018 г., Красноярск*. Красноярск; 2018a. С.94-101.)
- Yusov V.S., Evdokimov M.G., Meshkova L.V., Kiryakova M.N., Glushakov D.A. Characterization of resistance in durum wheat accessions from the KASIB nurseries to the stem rust pathogen under the conditions of Western Siberia (Kharakteristika ustoychivosti obraztsov tverдой pshenitsy iz pitomnikov KASIB k vzbuditel'nyy stebel'noy rzhavchiny v usloviyakh Zapadnoy Sibiri). *AgroEcoInfo*. 2018b;2(32). [in Russian] (Юсов В.С., Евдокимов М.Г., Мешкова Л.В., Кирьякова М.Н., Глушаков Д.А. Характеристика устойчивости образцов твердой пшеницы из питомников КАСИБ к возбудителю стеблевой ржавчины в условиях Западной Сибири. *АгроЭкоИнфо*. 2018b;2(32). URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/TEXT/RUSSIAN/2018/st_264_annot.html [дата обращения: 21.08.2020].
- Yusov V.S., Evdokimov M.G., Tatina B.M. Variability of combining ability in durum wheat depending on growth conditions. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2012;16(2):451-454. [in Russian] (Юсов В.С., Евдокимов М.Г., Татина Б.М. Изменчивость комбинационной способности твердой пшеницы в зависимости от условий выращивания. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2012;16(2):451-454).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Юсов В.С., Евдокимов М.Г., Мешкова Л.В., Глушаков Д.А. Создание сортов яровой твердой пшеницы, устойчивых к стеблевой ржавчине в Западной Сибири. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):131-138. DOI:10.30901/2227-8834-2021-2-131-138

Yusov V.S., Evdokimov M.G., Meshkova L.V., Glushakov D.A. Development of spring durum wheat cultivars resistant to stem rust in Western Siberia. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(2):131-138. DOI:10.30901/2227-8834-2021-2-131-138

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-131-138>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Yusov V.S. <https://orcid.org/0000-0002-4159-3872>

Evdokimov M.G. <https://orcid.org/0000-0001-9919-2329>

Meshkova L.V. <https://orcid.org/0000-0003-0544-7664>

Glushakov D.A. <https://orcid.org/0000-0001-9192-5241>