

«»

УДК:633.111:631.524.86:582.285(571.14)

**ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАЗЦОВ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ, УСТОЙЧИВЫХ К ПОРАЖЕНИЮ МУЧНИСТОЙ РОСОЙ
В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ ПРИОБЬЯ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ**

В.В. Пискарев^{1*}, Н.И. Бойко¹, В.А. Апарина¹, Е.В. Зуев²

¹Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал «Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук»; ²ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР)

*Эл. почта: Piskaryiv_v@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24.0.2022; принята к печати 02.12.2022

В 2019-2021 гг. в Новосибирской области при изучении в условиях естественного фона распространения мучнистой росы были выделены источники ценных признаков, которые характеризовались высокой устойчивостью в сочетании с урожайностью на уровне или выше лучшего за годы изучения стандарта – сорта Сибирская 17 (508,6 г/м²): Calispero, Бурлак, Буляк, Ласка, KW 240-3-13, Тасос, Тризо, Pasteur, Зауральская волна, Омская 43, Атлант, Кинельская Юбилейная, Экада 109, Экада 214, Jubilee, SW Kadrijl и Karee. Образцы с генами устойчивости Pm8, Pm38, Pm3 Pm5a характеризовались в основном как высокоустойчивые-иммунные. Не поражались (отсутствие симптомов) в оба года изучения образцы с генами и их сочетаниями: Pm1+Pm2+Pm4b+Pm9 (WW 17283), Pm12 (Wembley), Pm1a+Pm2, Pm9 (Normandie), Pm6Ag.i.1 (Воевода), Pm6Ag.i.2 (Тулайковская 10, Тулайковская 100, Тулайковская 110 и Тулайковская золотистая), Pm6Ag.i.2 + Pm38 (Тулайковская 5). Устойчивость сорта-индикатора (Хакасская) варьировала от очень низкой (1 балл) до низкой (3 балла).

Ключевые слова: пшеница мягкая яровая, мучнистая роса, устойчивость, Pm.

**CHARACTERISTICS OF SOFT SPRING WHEAT VARIETIES RESISTANT TO POWDERY MILDEW IN THE FOREST-STEPPE OB CONDITIONS OF THE
NOVOSIBIRSK REGION**

V.V. Piskarev^{1*}, N.I. Boyko¹, V.A. Aparina¹, E.V. Zuev²

¹Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding, Novosibirsk Region, Russia; ²Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Saint-Petersburg, Russia

*E-mail: Piskaryiv_v@mail.ru

As a result of the study of wheat varieties carried out in 2019-2021 in Novosibirsk Region, sources of resistance to powdery mildew that were characterized by high resistance combined with yields at or above the best standard for the years of study (Siberian 17 (508.6 g/m²)) were identified: Calispero, Burlak, Bulyak, Laska, KW 240-3-13, Tasos, Triso, Pasteur, Zauralskaya volna, Omskaya 43, Atlant, Kinelskaya Yubileynaya, Ekada 109, Ekada 214, Jubilee, SW Kadrijl and Karee. Varieties with resistance genes Pm 8, Pm 38, Pm3 Pm5a were characterized mainly as highly resistant-immune. Not affected (no symptoms) in both years of the study were varieties having the genes and their combinations: Pm1+Pm2+Pm4b+Pm9 (WW 17283), Pm12 (Wembley), Pm1a+Pm2, Pm9 (Normandie), Pm6Ag.i.1 (Voevoda), Pm6Ag.i.2 (Tulaykovskaya 10, Tulaykovskaya 100, Tulaykovskaya 110 and Tulaykovskaya Zolotistaya), Pm6Ag.i.2 + Pm38 (Tulaykovskaya 5). The resistance of the indicator variety (Khakasskaya) varied from very low (1 point) to low (3 points).

Keywords: soft spring wheat, powdery mildew, resistance, Pm.

Введение

Мучнистая роса пшеницы (*Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. tritici March) относится к числу крайне вредоносных заболеваний, в особенности если она поражает растения на ранних стадиях развития (кущение-выход в трубку). Недобор урожая от мучнистой росы может достигать 10-15%, а при эпифитотийном развитии болезни - 30-35%. При этом снижается и качество зерна – содержание белка и крахмала [1]. Мучнистая роса имеет широкое распространение по всему миру [2].

Табл. 1.

Образцы, характеризующиеся высокой устойчивостью к *B. graminis* в условиях естественного фона (Новосибирская обл., п. Краснообск, 2019-2020 гг.).

№ ВИР	Название	Происхождение				№ ВИР	Название	Происхождение			
			Минимальный балл	Максимальный балл	Урожайность, г/м ²				Минимальный балл	Максимальный балл	Урожайность, г/м ²
	Новосибирская 15	st	5	5	410,6	66414	Злата	РФ, Московская обл.	99	99	479,2
	Новосибирская 31	St	7	7	464,2	66350	Лиза	РФ, Московская обл.	99	99	401,2
	Обская 2	st	7	99	506,1	-	Касибовская	РФ, Омская обл.	7	9	410,3
	Сибирская 17	st	5	9	508,6		Омская 43	РФ, Омская обл.	7	9	529,4
	Хакасская	Индикатор поражения	1	3	384,2	66388	Столыпинская 2	РФ, Омская обл.	7	99	318,5
66211	Line Sr32	Австралия	7	7	378,0	66352	Атлант	РФ, Пензенская обл.	9	99	576,5
66421	Ласка	Беларусь	9	99	525,5	66259	Рима	РФ, Рязанская обл.	9	99	435,9
66422	Любава	Беларусь	99	99	470,7	66416	Кинельская 2010	РФ, Самарская обл.	7	9	431,3
66407	Сударыня	Беларусь	9	99	472,4	66270	Кинельская Юбилейная	РФ, Самарская обл.	7	7	557,6
66193	Тома	Беларусь	9	99	496,2	66272	Ирень 2	РФ, Свердловская обл.	7	9	408,8
-	KWS Torridon	Великобритания	99	99	378,0	66239	Экада 109	РФ, Татарстан	7	99	527,5
66090	Sparrow	Великобритания	9	99	470,2	66348	Аль Варис	РФ, Татарстан	7	9	561,6
66375	KW 240-3-13	Германия	7	9	579,1	66349	Булак	РФ, Татарстан	7	7	623,4*
-	KWS Jetstream	Германия	9	99	466,7	66411	Иолдыз	РФ, Татарстан	7	9	402,3
-	KBC Буран	Германия	7	99	449,9	66412	Хаят	РФ, Татарстан	7	7	474,7
	Тасос	Германия	9	99	529,7	66399	Гренада	РФ, Тюменская обл.	7	7	493,6
	Тризо	Германия	9	99	511,9	66390	Бурлак	РФ, Ульяновская обл.	7	7	626,8*
66091	Artur Nick	Испания	7	99	403,4	66389	Экада 214	РФ, Ульяновская обл.	9	99	571,3
66449	Atrevido	Испания	9	99	432,6	66253	Jubilee	США	7	7	532,7
66092	Mane Nick	Испания	7	99	448,7	66453	Kelse	США	7	9	404,9
66454	Степная 100	Казахстан	7	7	404,2	66237	M77-1140	США	7	9	395,5
66191	Эритроспермум 35	Казахстан	7	7	472,5	66393	Calispero	Франция	7	99	598,4*
66248	93-11-2-3-2	Канада	7	9	346,0	66376	Cornetto	Франция	9	99	441,2
66203	Lillian	Канада	7	9	442,0	66392	Eleganza	Франция	99	99	415,5
66210	NIL Thatcher Lr45	Канада	7	9	419,7	66391	Florens	Франция	9	99	318,0
66439	Dian 81V-418	Китай	7	9	331,9	-	Калиско	Франция	9	99	422,1
66195	Yumai 34	Китай	7	9	210,6	66401	Libertina	Чехия	99	99	412,0
66093	Pasteur	Нидерланды	9	99	520,9	66394	Odeta	Чехия	99	99	460,4
66441	Bastian	Норвегия	9	99	483,0	66400	Китри	Чехия	99	99	291,9
66094	Brawura	Польша	9	99	408,9	66353	Boett	Швеция	99	99	474,5
-	Геренда	Польша	99	99	384,0	66095	Lavett	Швеция	9	99	378,0
-	Изера	Польша	9	99	489,2	66098	SW Kadrijl	Швеция	99	99	517,7
66257	Воронежская 20	РФ, Воронежская обл.	7	9	487,5	66097	SW Kronjet	Швеция	99	99	498,9
66398	Клара	РФ, Кировская обл.	7	7	497,9	66096	Swedjet	Швеция	99	99	456,2
	Зауральская волна	РФ, Курганская обл.	7	9	545,9	66254	Karee	ЮАР	7	7	540,4
66402	Пушкинская 1	РФ, Ленинградская обл.	7	7	369,4		HCP 05	-	-	-	78,2
66351	Ботаническая 81	РФ, Московская обл.	9	9	496,2						

* Превышение достоверно при P<0,05.

Всего идентифицировано 100 аллелей в 63 локусах, контролирующих устойчивость пшеницы к мучнистой росе [3, 4, 5, 6, 7]. Большинство генов доминантны и экспрессируются на протяжении всей вегетации растения. Среди них 44 аллеля собственных (*Triticum aestivum* L.), 26 переданы от различных видов рода *Triticum*, 11 — от *Aegilops* spp., 5 — от *Secale cereale* L., 6 генов интрогрессированы от других видов, в том числе от видов рода *Agropyron* [8].

Эффективность селекции определяется выявлением подходящего исходного материала по результатам изучения в конкретных условиях среды. В этой связи актуальными являются мониторинг популяции мучнистой росы и поиск в коллекции генетически разнообразных образцов пшеницы яровой новых доноров устойчивости.

Целью исследования было выявить устойчивые к мучнистой росе, формирующие высокую урожайность в условиях лесостепи Приобья сортообразцы из коллекции пшеницы мягкой яровой и выявить гены, эффективно защищающие сортообразцы от поражения возбудителем.

Материал и методы

В 2019–2020 гг. в Сибирском НИИ растениеводства и селекции проводили изучение коллекции из 134 образцов пшеницы яровой по устойчивости к мучнистой росе и выраженности количественных признаков. Оценку проводили на опытном поле изучения коллекционных образцов в п. Краснообск на фоне естественного распространения инфекции по методике ВИР [9]. Посев в 1 декаду мая по чистому пару в 2-х повторениях. Делянка 1 м² расположение систематическое. Посев проводили сеялкой ССФК-7. Для выявления генов устойчивости, эффективно защищающих сортообразцы от поражения мучнистой росой, высевали образцы с установленными на основании литературных данных генами. Посев в первую декаду мая, вручную. Делянки размером 1 метр погонный. Устойчивость сорта индикатора (Хакасская) в годы изучения (2019-2021) по повторениям варьировала от 1 (очень низкая устойчивость) до 3-х (низкая устойчивость) баллов.

Результаты и обсуждение

В результате оценки 134 коллекционных образцов в 2019-2020 годах были выделены 13 иммунных (минимальный балл устойчивости – 99): Любава, KWS Torridon, Геренда, Злата, Лиза, Eleganza, Libertina, Odeta, Китри, Boett, SW Kadrijl, SW Kronjet и Swedjet (табл. 1). С высокой и очень высокой устойчивостью (7-9 баллов минимальная оценка) выделяются 50 образцов (Ласка, Сударыня, Тома и др.).

Кроме устойчивости к патогену селекционерам важно иметь источники устойчивости, которые будут формировать приемлемую урожайность в природно-климатической зоне, для которой ведется селекция. Так, по результатам оценки урожайности можно выделить 3 образца (Calispero, Бурлак и Буляк), сформировавшие урожайность (598,4-626,8 г/м²) выше лучшего стандарта – Сибирская 17 (508,6 г/м²). Урожайностью на уровне (511,9-576,5 или не значительно выше (НСР₀₅ = 78,2 г/м²) лучшего стандарта характеризовались 14 образцов, которые также можно рекомендовать как источники устойчивости к мучнистой росе: Ласка, KW 240-3-13, Тасос, Тризо, Pasteur, Зауральская волна, Омская 43, Атлант, Кинельская Юбилейная, Экада 109, Экада 214, Jubilee, SW Kadrijl и Karee.

Для выявления генетического состава популяции мучнистой росы мы высевали сорта с установленными по литературным данным генами устойчивости (табл. 2). Так лишь образец с генами *Pm4b+Pm6* (Терция) характеризовался как восприимчивый (1-3 балла устойчивости). Устойчивость образца Cook (*Pm6+Pm38*) варьировала от средней устойчивости (5 баллов) до низкой (3 балла), Сорт Мис (*Pm7*) характеризовался как среднеустойчивый (5 баллов), при этом стоит отметить, что линия NIL Thatcher Lr25, несущая также ген *Pm7* характеризовалась как высокоустойчивая (7-99 баллов). Также высокой устойчивостью (7-9) характеризовались образцы, несущие ген *Pm1a* (Axminster и Thew), при этом

Табл. 2.

Результаты оценки устойчивости образцов с установленными генами устойчивости к поражению мучнистой росой в условиях естественного распространения инфекции (Новосибирская обл., п. Краснообск, 2020-2021 гг.).

Название	Pm гены*	Устойчивость к мучнистой росе, балл		Название	Pm гены*	Устойчивость к мучнистой росе, балл	
		2020	2021			2020	2021
Хакасская	-	1	1	Anemos	Pm4b+Pm5	7	5
Triso	Pm1+Pm4b+Pm5	9	99	Torka	Pm5+	9	99
WW 17283	Pm1+Pm2+Pm4b+Pm9	99	99	Норе	Pm5a	9	9
Wembley	Pm12	99	99	Сибирская 17	Pm5a	9	9
Axminster	Pm1a	7	7	Cook	Pm6+Pm38	5	3
NIL Thatcher Lr20	Pm1a	7	5	Воевода	Pm6Ag.i.1	99	99
Thew	Pm1a	7	9	Лютеценс 101	Pm6Ag.i.2	99	99
Normandie	Pm1a+Pm2, Pm9	99	99	Тулайковская 10	Pm6Ag.i.2	99	99
CI 12633	Pm2+Pm6	7	9	Тулайковская 100	Pm6Ag.i.2	99	99
Meri	Pm28	9	7	Тулайковская 110	Pm6Ag.i.2	99	99
AC Domain	Pm38	5	7	Тулайковская золотистая	Pm6Ag.i.2	99	99
Glenlea	Pm38	99	99	Тулайковская 5	Pm6Ag.i.2 + Pm38	99	99
Екатерина	Pm38	9	9	NIL Thatcher Lr25	Pm7	99	7
Маргарита	Pm38	9	7	Мис	Pm7	5	5
Свеча	Pm38	9	9	Annapurna 2	Pm8	7	7
AC Cadillac	Pm38	9	9	NIL Thatcher Lr26	Pm8	7	7
AC Corinne	Pm38	9	7	OC-8822	Pm8	9	99
PF-83144 W	Pm38	99	99	Омская 37	Pm8	9	*99
Chul	Pm3b	9	99	Омская 41	Pm8	9	99
SW-Vinjett	Pm3d	99	99	Прохоровка	Pm8	9	7
Zebra	Pm3d	9	9	Annapurna 3	Pm8	7	99
Jasna	Pm3d+	7	7	Amigo	Pm8+Pm17	7	7
Терция	Pm4b+Pm6	3	1	KS89WGRC10	Pm8+Pm17	7	7

*по данным из Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale с сайта <http://www.wheatpedigree.net>

линия NIL Thatcher Lr20, несущая этот же ген, в 2021 году была среднеустойчивая (5 баллов). Образцы с геном устойчивости *Pm38* характеризовались в основном как высокоустойчивые (Glenlea, Екатерина, Маргарита, Свеча, AC Cadillac и AC Cогinne) или иммунные (Glenlea и PF-83144 W), при этом устойчивость сорта AC Domain (*Pm38*) варьировала по годам от средней (2020) до высокой (2021). Сортообразцы с геном *Pm8* также характеризовались как высокоустойчивые (Аппарина 2, Прохоровка и NIL Thatcher Lr26) очень высокоустойчивые и/или иммунные (ОС-8822, Омская 37 и Омская 41). Устойчивость образца Аппарина 3 варьировала от высокой (2020 г) до полного отсутствия симптомов поражения (2021 г.). Очень высокую устойчивость к поражению мучнистой росой в годы изучения сохраняли все образцы, несущие различные аллели гена *Pm3* (Chul, SW-Vinjett и Zebra) при этом устойчивость сорта Jasna, несущего данный ген в сочетании с неизвестным, была высокой. Также очень высокой устойчивостью к патогену характеризовались образцы с генами *Pm5a*. Иммунность к поражению в оба года изучения придавали образцам гены и их сочетания - *Pm1+Pm2+Pm4b+Pm9* (WW 17283), *Pm12* (Wembley), *Pm1a+Pm2*, *Pm9* (Normandie), *Pm6Ag.i.1* (Воевода), *Pm6Ag.i.2* (Тулайковская 10, Тулайковская 100, Тулайковская 110 и Тулайковская золотистая), *Pm6Ag.i.2 + Pm38* (Тулайковская 5).

Выводы

1. По результатам проведенного изучения коллекции в условиях лесостепи Приобья, в качестве источников устойчивости к мучнистой росе можно рекомендовать сорта: Calispero, Бурлак, Буляк, Ласка, KW 240-3-13, Тасос, Тризо, Pasteur, Зауральская волна, Омская 43, Атлант, Кинельская Юбилейная, Экада 109, Экада 214, Jubilee, SW Kadrijl и Карее, характеризующиеся устойчивостью в сочетании урожайностью на уровне или выше лучшего за годы изучения стандарта – сорта Сибирская 17 (508,6 г/м²).

2. Основная часть образцов, включенных в изучение, с установленными генами устойчивости характеризовалась устойчивостью от высокой до отсутствия признаков поражения, кроме сорта Терция, несущего сочетание генов *Pm4b+Pm6*, устойчивость которого была от низкой (3 балла) до очень низкой (1 балл).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект №20-016-00093.

Литература

1. Ширинян МХ, Бугаевский ВК, Гайдаш НИ. Отзывчивость сортов озимой пшеницы на удобрения и стабильность урожая по годам. В кн.: Вопросы селекции и возделывания полевых культур: матер. науч.-практ. конф. «Зеленая революция П.П. Лукьяненко». - Краснодар: Сов. Кубань; 2001. С.171-5.
2. Доброзракова ТЛ. Сельскохозяйственная фитопатология. Ленинград: Колос; 1974.
3. Gao H, Xu X, Ai P, Luo F, Guo P, Ma P. Identification of the powdery mildew resistance in Chinese wheat cultivar Heng 4568 and its evaluation in marker-assisted selection. *Front Genet.* 2022;(13):100-8.
4. He H, Du H, Liu R et al. Characterization of a new gene for resistance to wheat powdery mildew on chromosome 1RL of wild rye *Secale sylvestre* *Theor App Genet.* 2021;134:887-96.
5. He H, Liu R, Ma P, et al. Characterization of Pm68, a new powdery mildew resistance gene on chromosome 2BS of Greek durum wheat TRI 1796 *Theor App Genet.* 2021;134:53-62.
6. Li G, Cowger C, Wang X, Carver BF, Xu X. Characterization of Pm65, a new powdery mildew resistance gene on chromosome 2AL of a facultative wheat cultivar. *Theor App Genet.* 2019;132(9):2625-32.
7. McIntosh RA, Dubcovsky J, Rogers WJ, Xia XC, Raupp WJ. Catalogue of Gene Symbols for Wheat: 2019 Supplement. *Annu Wheat Newsllett.* 2019:98-113.
8. Радченко ЕЕ, Абдуллаев ПА, Анисимова ИН. Генетическое разнообразие зерновых культур по устойчивости к мучнистой росе *Экологическая генетика.* 2020;18(1):59-78.
9. Мережко АФ, Удачин ПА, Зуев ЕВ и др. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале. Методические указания. СПб.: ВИР, 1999.

References

1. Shirinian MKh, Bugayevsky VK, Gaydash NI. Reactivity of winter wheat varieties to fertilizers and crop yield stability by years. In: *Voprosy Seleksii i Vozdelyvaniya Polevykh Kultur.* Krasnodar: Sov. Kuban; 2001. P.171-5
2. Dobrozrakova TL. *Selskokhoziaystvennaya Fitopatologiya.* Leningrad: Kolos; 1974.
3. Gao H, Xu X, Ai P, Luo F, Guo P, Ma P. Identification of the powdery mildew resistance in Chinese wheat cultivar Heng 4568 and its evaluation in marker-assisted selection. *Front Genet.* 2022;(13):100-8.
4. He H, Du H, Liu R et al. Characterization of a new gene for resistance to wheat powdery mildew on chromosome 1RL of wild rye *Secale sylvestre* *Theor App Genet.* 2021;134:887-96.
5. He H, Liu R, Ma P, et al. Characterization of Pm68, a new powdery mildew resistance gene on chromosome 2BS of Greek durum wheat TRI 1796 *Theor App Genet.* 2021;134:53-62.
6. Li G, Cowger C, Wang X, Carver BF, Xu X. Characterization of Pm65, a new powdery mildew resistance gene on chromosome 2AL of a facultative wheat cultivar. *Theor App Genet.* 2019;132(9):2625-32.
7. McIntosh RA, Dubcovsky J, Rogers WJ, Xia XC, Raupp WJ. Catalogue of Gene Symbols for Wheat: 2019 Supplement. *Annu Wheat Newsllett.* 2019:98-113.
8. Radchenko YeYe, Abdullayev PA, Anisimova IN. Genetic diversity of grain crops by their resistance to mildew. *Ekologicheskaya Genetika* 2020;18(1):59-78.
9. Merezko AF, Udachin PA, Zuyev YeV et al. Popoleniye, Sokhraneniye v Zhivom Vide i Izucheniye Mirovoy Kolleksii Pshenitsy, Egilopsa i Triticale. Saint- Petersburg: VIR; 1999.