

УДК 633.11: 581.573.4

Т. В. Лебедева,
Е. В. Зуев,
А. Н. Брыкова

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических
ресурсов растений имени Н. И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Б. Морская, д. 42, 44
e-mail: riginbv@mail.ru

Ключевые слова:

яровая мягкая пшеница, мучнистая
роса, вирулентность, фазы роста

Поступление:

16.05.2018

Принято:

19.09.2018

ПРОЯВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К МУЧНИСТОЙ РОСЕ У ОБРАЗЦОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ ВИР

Актуальность. Мучнистая роса – вредоносное заболевание пшеницы, поражающее растение на всех фазах роста. Важным средством борьбы с болезнью является выведение устойчивых сортов к *Blumeria graminis* (DC.) E.O. Speer f. sp. *tritici* Em. Marchal. Цель работы – выявление резистентных к мучнистой росе сортов мягкой пшеницы. **Материалы и методы.** Материалом для исследования служили 465 сортов яровой мягкой пшеницы из коллекции генетических ресурсов растений ВИР. Инокулюмом для заражения растений являлась природная популяция мучнисторосного гриба. Растения оценивали в разные фазы развития – проростки, колошение и цветение. Оценку поражаемости проводили по 5-балльной шкале, учитывая хлорозы и некрозы. **Результаты и выводы.** Большинство сортов в фазах взрослого растения оказались умеренно восприимчивы (16,8%) или восприимчивы (72,7%) к природной популяции гриба. Выделена группа сортов пшеницы без видимых поражений, но с хлорозными пятнами на листьях (10,5%). Анализ устойчивости этой группы сортов в фазе проростков выявил резистентные к мучнистой росе образцы ‘Kandela’, ‘Arabeska’, ‘Batalj’, ‘Stilett’. Обсуждается возможность несоответствия генетического контроля устойчивости к мучнисторосному грибу на разных этапах онтогенеза растений пшеницы.

Т. В. Lebedeva,
Е. В. Zuev,
А. Н. Brykova

N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant
Genetic Resources,
42, 44, Bolshaya Morskaya St.,
St. Petersburg, 190000, Russia,
e-mail: riginbv@mail.ru

Key words:

spring bread wheat, fungus, virulence,
powdery mildew resistance

Received:

16.05.2018

Accepted:

19.09.2018

THE EXPRESSION OF POWDERY MILDEW RESISTANCE IN SPRING BREAD WHEAT CULTIVARS FROM THE VIR COLLECTION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Background. Powdery mildew caused by *Blumeria graminis* (DC.) E.O. Speer f. sp. *tritici* Em. Marchal. is a widespread foliar disease of common wheat in regions with cool and wet conditions. The disease infects the foliage, stem and spike of the wheat host. The most economical and environmentally safe method for controlling powdery mildew is the development of resistant bread wheat cultivars. The objective of this work was to analyze wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars for resistance to a powdery mildew population. **Materials and methods.** The VIR collection of plant genetic resources is a rich source of genetic materials. The study of resistance to the fungus employed 465 common wheat cultivars. The plants were inoculated at the seedlings, heading and flowering stages of plant development. The population of fungus was virulent to *Pm1*, *Pm2*, *Pm3a-d*, *Pm4a-b*, *Pm5a*, *Pm6*, *Pm7*, *Pm8*, *Pm9*, *Pm16*, *Pm19* and avirulent to *Pm12*. For the estimation of plant damage, a scale from 0 (no damage) to 4 (abundant pustules) was used. **Results and conclusions.** The estimation of powdery mildew resistance was made in the field on adult plants. Out of 465 cultivars, resistant accessions amounted to 10,5%, intermediate ones to 16.8%, and susceptible ones to 72.7%. Generally, the resistant varieties originated from Europe and Russia. The group of the resistant cultivars (adult plants) was inoculated with fungus at the seedling stage and the plant damage was estimated. The cultivars ‘Kandela’, ‘Arabeska’, ‘Batalj’, ‘Stillet’ were resistant at all growth stages. The genetic control of powdery mildew resistance at different wheat growth stages was discussed.

Введение

Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – одна из самых важных зерновых культур, однако ее производство лимитировано биотическими и абиотическими стрессами. Вследствие поражения мучнистой росой продуктивность этой культуры в разных климатических условиях снижается на 10–60%. Наибольший ущерб регистрируется в умеренно теплых и достаточно увлажненных районах, в том числе и на Северо-Западе России (Mwale et al., 2014).

Возбудитель – *Blumeria graminis* (DC.) E.O. Speer f. sp. *tritici* Em. Marchal. (Bgt) – поражает листья, стебель, колос; притом существенно изменяется ход физиологических процессов и, как следствие, – ослабевает способность растений к кущению, снижается абсолютный вес семян, уменьшается озерненность колосьев. Заболевание способно в короткий промежуток времени охватить значительные площади, вызывая частые эпифитотии.

Внутривидовой наследственный потенциал мягкой пшеницы по устойчивости к мучнистой росе довольно беден. Генетическими и фитопатологическими тестами выявлено и описано более 70 генов, ответственных за устойчивость растений к этому заболеванию (Mwale et al., 2014). Мировая коллекция генетических ресурсов растений ВИР дает возможность поиска устойчивых типов растений и использования их в селекционных программах.

Важным средством борьбы с болезнями является выведение устойчивых к патогенам сортов сельскохозяйственных культур. Однако устойчивость ограничена во времени из-за появления биотипов гриба с новой вирулентностью, способных быстро расселиться на больших площадях. Поэтому постоянный поиск новых эффективных генов устойчивости к болезни и введение их в перспективные сорта является необходимым этапом селекции.

Целью настоящей работы является анализ реакции образцов пшеницы коллекции ВИР на заражение популяцией возбудителя мучнистой росы в разные фазы развития растений.

Материал и методы

Исследовали 465 образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции генетических ресурсов растений ВИР¹. Инокулатором являлась популяция Bgt, собранная с восприимчивых растений пшеницы на экспериментальном поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (ПЛ ВИР, Санкт-Петербург). Популяцию гриба-возбудителя мучнистой росы анализировали с использованием изогенных линий и тест-линий мягкой пшеницы. Оценку проростков пшеницы проводили при искусственном заражении популяцией гриба в лабораторных условиях. Выращивание растений и инкубирование на них гриба проводили в камере Barnstead при 12-часовом фотопериоде и температуре 16°C (день), 13°C (ночь). Семидневные проростки заражали путем стряхивания конидий с сильно пораженных мучнистой росой растений пшеницы. Степень устойчивости оценивали по шкале качественной реакции (Mains, Diets, 1930). Показателями проявления заболевания растений мучнистой росой явились интенсивность и характер спороношения, качественные реакции тканей растений в ответ на внедрение патогена (хлорозы и некрозы). К классу устойчивых относили растения,

¹Уникальная научная установка, регистрационный номер USU_505851

поражение которых не превышало 1 балл, умеренно устойчивых – 2 балла. Восприимчивыми считали растения с поражением 3 и 4 балла.

Растения злаков наиболее восприимчивы к мучнистой росе в периоды колошения и цветения. Во время кущения запас инфекции в поле невелик и растения почти не поражены. К периоду колошения и цветения инфекция образуется обильно, и развитие болезни идет интенсивно. В своих опытах именно в этих фазах развития растений мы оценивали проявление заболевания на естественном фоне заражения грибом, используя следующую шкалу: 0 – отсутствие поражения; 1 – очень слабое поражение в виде мелких подушечек или слабого налета на листьях или междуузлиях нижнего яруса; 2 – умеренное количество подушечек на нижнем ярусе; 3 – среднее поражение, массовое развитие подушечек главным образом на нижнем ярусе, на верхнем ярусе отдельные рассеянные пятна; 4 – сильное поражение – подушечки по всему стеблю, иногда поражен колос (Krivchenko et al. 2008). Дополнительно отмечали наличие хлорозов, некрозов и степень их выраженности.

Результаты и обсуждение.

Фенотипическое разнообразие мягкой пшеницы к Bgt оценили на разных фазах развития растений: проростки, колошение и цветение. Исследовали 465 образцов пшеницы различного происхождения (табл. 1). Рабочая коллекция включала сортимент России (103 образца), стран Европы (121 образец), Восточной и Юго-Восточной Азии (89), Малой Азии и Ближнего Востока (51), Северной Америки (47). Сортимент других районов представлен в меньшей степени.

Таблица 1. Распределение образцов яровой мягкой пшеницы по степени поражения мучнистой росой взрослых растений.

Table 1. Distribution of spring bread wheat accessions according to the degree of powdery mildew infection (adult plant)

Происхождение	Изучено образцов	Распределение образцов по баллам поражения				
		хлороз	0	1	2	3–4
Австралия	6	1	–	–	–	5
Африка	9	–	–	1		8
Восточная и Юго-Восточная Азия	89	3	–		5	81
Европа	121	14	11	10	40	46
Закавказье	1	1	–	–	–	–
Малая Азия и Ближний Восток	51	1	–	1	12	37
Россия	103	6	–	–	15	82
Северная Америка	47	–	–	–	3	44
Центральная Азия	22	1	–	–	2	19
Южная Америка	16	–	–	–	–	16
Всего	465	27	11	11	78	338

Прохладный, сырой летний период в последние годы благоприятствовал проявлению инфекции на посевах ПЛ ВИР. Степень поражения оценивали на естественном инфекционном фоне дважды – в периоды колошения и цветения пшеницы. Растения с поражением 3 и 4 балла рассматривали как восприимчивые. Стеблестой таких растений был поражен в сильной степени, у некоторых хорошо развитые пустулы наблюдали на колосковых чешуях и остиях. Группа устойчивых растений характеризовалась наличием отдельных пустул (балл 1), отсутствием

видимого мицелиального налета (балл 0) либо хлорозными пятнами на листьях (хл.). Хлорозы на посевах пшеницы можно объяснить не только сверхчувствительностью растения к грибу, но и поражением другими патогенами и вредителями.

В таблице 1 представлено распределение образцов пшеницы по степени поражения Bgt. Как оказалось, из 465 исследованных образцов мягкой пшеницы только 10,5% устойчивы к болезни, 16,8% умеренно восприимчивы и 72,7% восприимчивы к Bgt. Большая часть устойчивых в период колошения и цветения сортов поступили в коллекцию ВИР из стран Европы. Среди восприимчивых сортов выделилась группа, поражение растений которой в период колошения составила 2–3 балла, а в следующий период роста (цветение) симптомы поражения на этих образцах не наблюдали, отмечали лишь хлорозы или некрозы на листьях. Эту группу сортов анализировали по устойчивости к Bgt в ювенильной фазе в лабораторных условиях (табл. 2). Популяция имела гены вирулентности к генам устойчивости *Pm1*, *Pm2*, *Pm3a-d*, *Pm4a-b*, *Pm5a*, *Pm6*, *Pm7*, *Pm8*, *Pm9*, *Pm16*, *Pm19* и авиурентна к *Pm12*.

Анализ выявил устойчивые к болезни образцы на всех фазах развития: ‘Arabeska’, ‘Kandela’ (Польша), ‘Batalj’, ‘Stilett’ (Швеция). Остальные образцы в фазе проростков были поражены на 2, 3 и 4 балла.

Общепринято, что иммунность проростков коррелирует с высокой устойчивостью взрослого растения. В нашем эксперименте отдельные сорта, восприимчивые в проростках, не поражались Bgt в поздние периоды развития (см. табл. 2). Таким же образом ведет себя линия Transec (*Pm7*), имеющая устойчивость от ржи: линия устойчива во взрослоей фазе и восприимчива в проростках (Hsam, Фавре с соавторами (Favret et al., 1983) наблюдали различия в поражении Bgt пластинки листа и колеоптиля растений сортов ‘Asosan’ (*Pm3a*) и ‘Chul’ (*Pm 3b*). Беннетт (Bennett, 1981) показала, что в патосистеме мучнистая роса – пшеница некоторые сорта, восприимчивые в проростках, являются сравнительно устойчивыми во взрослом состоянии. Вероятно, эти сорта имеют частичную устойчивость к болезни и могут быть ценным материалом в селекции на долговременную устойчивость к мучнистой росе. Гены, определяющие такую устойчивость, влияют на все факторы нарастания болезни: уменьшают размер и число пустул, количество спор на пустуле (Miedaner et al., 2007) Сорта с этим типом резистентности культивируют многие годы без потери устойчивости к болезни. Так, сорта ‘Knox 62’ и ‘Massey’ занимают в США довольно большие площади и сохраняют непоражаемость мучнистой росой не один десяток лет. Долговременной устойчивостью обладают следующие сорта: ‘Torgo’ (Швейцария), ‘RE714’ (Франция), ‘Fukuhiko-komugi’ (Япония), ‘Folke’ (Швеция), ‘Naxos’ (Германия). Часто главные гены, контролирующие этапы проявления такого типа устойчивости, связаны с хромосомами 1AS, 1BL, 2BL и 7DS (Lillemo et al., 2012).

Устойчивость пшеницы к Bgt может контролироваться разными генетическими системами на разных фазах развития. Сорта мягкой пшеницы ‘Восток’ и ‘Грекум 114’ (в родословной генетический материал от пырея) имеют доминантный ген, контролирующий устойчивость к Bgt только взрослых растений. У сорта ‘Коммунар’ из трех доминантных генов устойчивости к Bgt взрослого растения в фазе проростков функционируют два из них (Lebedeva, 1994). Устойчивость линии мягкой пшеницы к-15560 в ювенильной фазе контролирует один ген, в фазе колошения – два гена, один из которых функционирует на протяжении всего развития растения. Методом моносомного анализа определили локализацию этого гена в хромосоме 7BL (Peusha et al., 2002). У некоторых сортов мягкой пшеницы

посттювенильную устойчивость к Bgt обеспечивают доминантные аллели генов. Эти гены имеют плейотропный эффект на устойчивость к нескольким ржавчинным болезням и связаны с образованием некрозов на листьях (*Ltn*) растений. Ген *Pm38* идентифицирован в сортах ‘Stampelli’, ‘Saar’, ‘Fukuho-Komugi’ и используется в селекции сортов с длительной устойчивостью (Li et al., 2014).

Таблица 2. Устойчивость к мучнистой росе сортов яровой**мягкой пшеницы в разные фазы развития растений****Table 2. Powdery mildew resistance in spring bread wheat varieties
at different stages of plant development**

Сорт	Происхождение	Поражаемость (балл) в фазе	
		проростков	колошения
Кинельская юбилейная	Россия	3	2
Йолдыз	Россия	3	2
Хаят	Россия	3	1
Свиток	Россия	2	2
Ласка	Белоруссия	2	2
KWS Torrida	Великобритания	3	1
KWS Alderon	Великобритания	3	хл
KWS Willow	Великобритания	3	1
Quintus	Германия	3	3
Almetaga	Турция	2	1
Kandela	Польша	0	хл
Arabeska	Польша	0	хл
Struna	Польша	3	1
Lagwa	Польша	3	1
Канюк	Франция	2	2
Dafna	Чехия	3	2
Izzy	Чехия	4	2
Alondra	Чехия	4	2
Batalj	Швеция	1	1
Stilett	Швеция	1	1
Digana	Швейцария	2	1
CH Campala	Швейцария	3	2
CH Matro	Швейцария	2	1
Togano	Швейцария	3	1
Рифор	Россия	4	4
Сибирка Ярцевская	Россия	4	4

Заключение

Таким образом, проявление признака устойчивости к мучнистой росе у мягкой пшеницы зависит от многих факторов и контролируется генами, экспрессирующими на разных фазах роста растений. В результате полевых и лабораторных исследований устойчивости к заболеванию 465 сортов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР выявили 24 образца, устойчивых в фазе цветения и 4 образца (‘Arabeska’, ‘Kandela’, ‘Batalj’, ‘Stilett’), резистентных на всех фазах развития. Эти данные могут быть полезны для планирования селекционных работ по устойчивости к мучнистой росе пшеницы.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № 0662-2018-0019 «Скрининг генофонда основных сельскохозяйственных культур по устойчивости к болезням и вредителям с использованием современных лабораторных методов, изучение эффективности источников устойчивости к вредным организмам», номер государственной регистрации ЕГИСУ НИОКР AAAA-A16-116040710361-8.

References/Литература

- Bennett F. G. A. The expression of resistance to powdery mildew infection in winter wheat cultivars II Adult plant resistance // Ann. Appl. Biol., 1981, vol. 98, pp. 305–317.
- Favret E. A., Franzone P. M., Fischbeck G. Different reaction to powdery mildew (*Erysiphe graminis*) in coleoptile and first leaf of wheat seedling // Z. Pflanzung., 1983, vol. 4, pp. 339–342.
- Hsam S. L. K., Zeller F. J. Breeding for powdery mildew resistance in common wheat (*Triticum aestivum* L.) // The Powdery mildews. A comprehensive treatise. Ed. by Richard R. Bélanger, William R. Bushnell, Aleid J. Dik and Timothy L. W. Carver. APSpress. Minnesota, 2002. P. 219–238.
- Krivchenko V. I., Lebedeva T. V., Peusha H.O. Muchnistaya rosa zlakov. -Izuchenie geneticheskikh resursov zernovih kultur po ustoichivosti k vrednym organizmam. Metodicheskoje posobie. Moskva. 2008. pp. 86-105 [in Russian] (Кривченко В. И., Лебедева Т. В., Пеуша Х. О. Мучнистая роса злаков. //Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. Методическое пособие. Россельхозакадемия. Москва, 2008. С. 86-105).
- Lebedeva T. V. Genetics of resistance of common wheat to powdery mildew // Genetika, 1994, vol. 30, no 10, pp. 1343–1351 [in Russian] (Лебедева Т. В. Генетика устойчивости пшеницы к мучнистой росе // Генетика. 1994. Т. 10, № 10. С. 1343–1351).
- Li Z., Lan C., He Z., Sing R., Rosewarne G., Chen X., Xia X. Overview and application of QTL for adult plant resistance to leaf rust and powdery mildew in wheat // Crop Science, 2014, vol. 54, pp. 1907–1925. DOI: 10.2135/cropsci2014.02.0162.
- Lillemo M., Björnstad Å., Skinnies H. Molecular mapping of partial resistance to powdery mildew in winter wheat cultivar Folke // Euphytica, 2012, vol. 185, pp. 47–59. DOI: 10.1007 / s10681-011-0620-x.
- Mains E. B., Dietz S.M. Physiologic forms of barley mildew *Erysiphe graminis* DC. // Phytopath., 1930, vol. 20, no. 3, pp. 229–239.
- Miedaner T., Flath K. Effectiveness and environmental stability of quantitative powdery mildew (*Blumeria graminis*) resistance among winter wheat cultivars // Plant Breeding, 2007, vol. 126, pp. 553–558. Doi: 10.1111/j.1439-0523.2006.01353.x.
- Mwale V. M., Chilembwe H. C., Uluko H. C. Wheat powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) damage effects and genetic resistance developed in wheat (*Triticum aestivum*) // Plant Sci., 2014, vol.5, no.1, pp. 1–16. Doi <http://dx.doi.org/10.14303/irjps.2013.068>.
- Peusha H., Lebedeva T. V., Prilinn O., Enno T. Genetic analysis of durable powdery mildew resistance in a common wheat line // Hereditas, 2002, vol. 136, pp. 201–206.