

УДК 582.284.22:576.8.097.21



Сколотнева Е.С.

Возбудитель стеблевой ржавчины пшеницы: врага надо знать в лицо

Сколотнева Екатерина Сергеевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник кафедры микологии и альгологии биологического ф-та МГУ им. М.В.Ломоносова,
E-mail: sk-ska@yandex.ru

Значительный ущерб урожаю пшеницы наносит заболевание стеблевыми ржавчинами. Ее возбудитель - паразитический гриб *Puccinia graminis* Pers., способный быстро распространяться на значительные территории. Попытки справиться с патогеном путем уничтожения промежуточных растений-хозяев, выведением устойчивых сортов не приводят к успеху в силу существующей коэволюции в системе «хозяин - паразит».

Ключевые слова: возбудитель стеблевой ржавчины пшеницы, устойчивые сорта, раса Ug99, система «хозяин - паразит».

Одной из проблем, с которыми человечеству предстоит столкнуться в ближайшем будущем, является продовольственный кризис, возникновение которого в частности будет связано с нарастающим дефицитом зерна пшеницы. Посевные площади в мире уменьшаются, а урожайность пшеницы в большинстве развитых стран достигла предельного уровня и, например, в странах Европы составляет около 8 т/га. Годовое производство зерна пшеницы – цифра немалая и в среднем составляет сейчас 600 млн. т., однако прогнозируемая к 2020 г. мировая потребность будет достигать уровня от 840 млн. до 1 млрд. т.¹

В этих условиях приходится обращать внимание на все факторы, снижающие урожай. Лето 2010г. с аномально высокой для большинства регионов России температурой наглядно продемонстрировало значение абиотического фактора, приведшего к введению временного эмбарго на экспорт пшеницы. Что касается биотического фактора, то болезни, вызванные патогенными грибами, бактериями и вирусами, и по сей день являются причиной существенной потери урожая пшеницы. Обработка посевов ядохимикатами и биологически активными препаратами - экологически небезопасная и дорогостоящая мера борьбы. Более привлекательно выглядит селекция устойчивых сортов, однако и она не может окончательно разрешить проблему ухода от инфекций в силу высокой скорости естественного отбора в системе «хозяин – паразит».

Динамичное изменение генома – залог выживания участников этой системы и «головная боль» селекционеров. Однако в настоящее время именно селекционеры являются основным движущим фактором коэволюции (совместной эволюции) данных организмов. Создается новый сорт (в геном растения-хозяина тем или иным способом вводится новый ген устойчивости), а через несколько лет отфильтровывается патоген с соответствующей мутацией противодействия (с так называемым геном вирулентности). Таким образом, заботясь об урожайности пшеницы, приходится уделять серьезное внимание ее паразитическому фону.

Одним из наиболее вредоносных заболеваний злаков является стеблевая ржавчина, оставляющая менее 40% от ожидаемого урожая в случае эпифитотий (массовых эпидемий растений). Ее возбудитель – гриб *Puccinia graminis* Pers (рис. 1).

В последние десятилетия в России интерес исследователей к этому объекту утрачен. Выведены устойчивые к заболеванию сорта, стали историей годы, когда стеблевая ржавчина свирепствовала на полях страны, и, казалось бы, вопрос о защите культур от стеблевой ржавчины потерял свою актуальность. Однако потенциальная опасность проявления инфекции в серьезных масштабах не исчезла. В этом легко убедиться: достаточно во время прогулки вдоль поля со зреющими здоровыми хлебами обратить внима-

¹ Раджарам С., Браун Х.Е. Потенциал урожайности пшеницы // Агромедиан. 2006. № 2 (3). С. 5–12.



Рис. 1. Стеблевая ржавчина пшеницы, внешний вид заболевания: восприимчивый к стеблевой ржавчине пораженный сорт на фоне устойчивого сорта (фото автора, Мексика, CIMMYT)



Рис 2. Пораженные стеблевой ржавчиной листья барбариса (фото National Agricultural Pest Information System, Haruta Ovidiu, University of Oradea, Romania)



Рис. 3. Масса урeдиниоспор на стеблях восприимчивого сорта пшеницы (фото автора, Мексика, CIMMYT)

прорасти в одноядерный мицелий с базидиоспорами. Именно они заражают барбарис и цикл замыкается.

Итак, барбарис для возбудителя стеблевой ржавчины – место протекания полового процесса и источник новых агрессивных рас. В связи с этим в США к 30 годам прошлого столетия посадки барбариса были полностью уничтожены. Но через два десятилетия северные штаты, основные производители зерна,

ние на растущие на обочине дикие злаки (пырей, ежу сборную, тимофеевку). Почти в 70% случаев их стебли окажутся обсыпанными ржавым налетом спор гриба. Именно дикорастущие злаки являются резервуарами инфекции, поддерживающим ее популяцию в природе, и чуть ниже будет приведен пример из практики американских «борцов с ржавчиной», которым после серии неудачных (но глобальных) акций по ликвидации инфекции пришлось раскрыть учебники по фитопатологии и подробнее изучить биологию паразита.

Жизненный цикл этого гриба очень интересен. Возбудитель стеблевой ржавчины – удивительный организм, существующий в природе преимущественно в виде спор, а не в виде мицелия как большинство грибов. В течение сезона паразит успевает сменить нескольких растений-хозяев, так как способен последовательно принимать 5 состояний, отличающихся по морфологии и функциям.

Весной (в средней полосе России в конце мая – начале июня) нежные листья барбариса легко поражаются спорами ржавчины, называемыми *базидиоспорами*. На верхней поверхности листьев обнаруживаются следы неглубоких мицелиальных внедрений гриба, который готовится к половому процессу. Половой процесс, на первый взгляд, наиболее важное событие в жизни патогена, так как в результате образуются всевозможные комбинации генома – веер генотипов. При этом высока вероятность появления новых агрессивных признаков у гриба – то есть рождения новой расы (внутривидовая единица, аналогичная сорту).

Затем гриб готовится к основному паразитическому циклу, который проходит на злаках. Споры, называемые *эциоспорами*, отшнуровываются на нижней стороне листа барбариса. Это положение обеспечивает отделение споровой массы под воздействием легчайшего порыва ветра (рис. 2).

Эциоспоры попадают на поверхность злаков, в это время пока еще ранних всходов, наиболее восприимчивых к инфекции. Здесь развивается локальный мицелий, который ограничивается лишь парой-тройкой сосущих гиф – гаусториев. Они откачивают из растения питательные вещества, необходимые для продукции огромного количества спор летнего поколения – до нескольких сотен кирпично-рыжих *урeдиниоспор*. Ослабленное таким образом растение не способно развить полноценный колос. А урeдиниоспоры стремительно созревают и распространяются на незараженные участки, либо на новое растение. Там каждая урeдиниоспора снова развивает свой незамысловатый сосущий аппарат и дает начало новой обильной порции спор. Так, в течение одного сезона инфекция буквально скашивает поля с зерновыми. Споры в массе выглядят очень характерно – как налет ржавчины на стеблях – отсюда и название заболевания – стеблевая ржавчина (рис. 3).

К осени вместо рыжих урeдиниоспор, развиваются черные толстостенные споры покоя – *телиоспоры*. Они способны перезимовывать и весной

оказались охваченными эпифитотией стеблевой ржавчины¹.

Дело в том, что, лишившись условий для полового процесса, патоген сократил свой жизненный цикл до одной стадии – урединиоспор. Отсутствие толстостенной оболочки у этого типа спор, казалось, должно было лишить возможности благополучной перезимовки патогена в условиях суровых зим северных штатов. Однако продукция урединиоспор чрезвычайно высока и части популяции удавалось выжить за счет перемещения в южные штаты. Словно перелетные птицы, только пассивно, подхваченные ветром, споры стеблевой ржавчины переносились на юг, оседая и паразитируя на дикорастущих видах злаков. Весной, последовательно шагая по озимым посевам, инфекция возвращалась к созревающим хлебам Северной Дакоты и Миннесоты. Кроме того, воспроизводясь исключительно бесполом путем, популяция урединиоспор продолжала быть великолепным материалом для случайных мутаций и отбора в силу своей многочисленности. Не смотря на отсутствие полового процесса, основного источника возникновения новых генотипов, в популяции достаточно скоро стали появляться неизвестные расы гриба, имевшие южное происхождение. Возникнуть они могли под воздействием мощного мутагенного фактора - биологически-активного ультрафиолета, поток которого повышается с приближением к экватору². Так попытка остановить коэволюционный процесс системы «хозяин-паразит» потерпела поражение.

Следующим заблуждением, уже мирового масштаба, стало достаточно долгое ощущение победы над возбудителем стеблевой ржавчины после создания устойчивых сортов путем введения в геном пшеницы гена *Sr31* (одного из генов ржи). Ген *Sr31* обеспечивал эффективную защиту пшеничных посевов последние 30–35 лет. Очагом развития новой инфекционной волны оказалась Восточная Африка – регион, получающий максимально возможную в условиях нашей планеты дозу биологически-активного ультрафиолета, что позволило назвать его (регион) генетической лабораторией планеты³.

В 1998–1999 гг. в Уганде вспыхнула жесточайшая эпидемия стеблевой ржавчины пшеницы с потерями урожая вплоть до 80%, вызванная появлением патогенной расы Ug99 (сокращение от «Uganda 1999»), способной поражать неиммунное растение на любой стадии и приводить к его быстрой гибели⁴. В Кении и Эфиопии с 2001 по 2003 годы большинство сортов пшеничной коллекции CIMMYT (Международного института улучшения кукурузы и пшеницы) оказались восприимчивыми к стеблевой ржавчине. При этом инфекционный фон увеличил свои составляющие: к расе Ug99 прибавились две ее модификации Ug99+*Sr24* и Ug99+*Sr36*. В 2006 году они были зафиксированы уже в Судане и Йемене, а в 2007 году в Иране (рис. 4).

По официальным прогнозам, инфекция будет продолжать распространяться по странам Центральной Азии, и является вполне вероятным появление Ug99 в Казахстане, Узбекистане, Турции и на Украине⁵.

На территории центрального региона Российской Федерации раса Ug99 и ее модификации к настоящему моменту не отмечались⁶. Естественным барьером распространению инфекции в северном и северо-восточном направлении является климат, не соответствующий экологическим предпочтениям расы. Од-

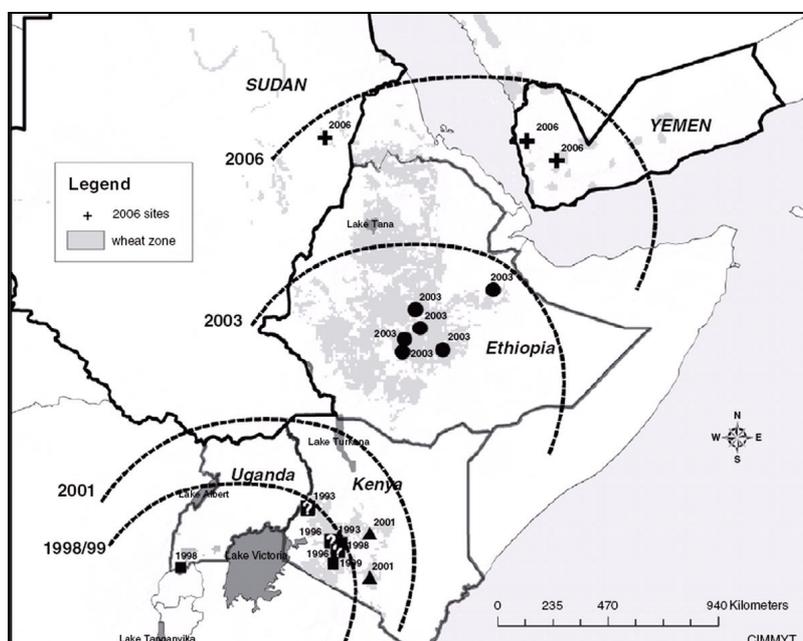


Рис. 4. Распространение расы Ug99 и ее модификаций³

¹ Roelfs A.P. Effects of barberry eradication on stem rust in the United States // Plant Disease. 1982. № 66. P. 177–181.

² Белоусов В.В. Последствия разрушения озонового слоя для биосферы // Изв. АН СССР. Сер. Биология. 1991. № 2. С. 242–254.

³ Сьвороткин В.Л. Глубинная дегазация и глобальные катастрофы. М.: ЗАО "Геоинформмарк". 2002. 250 с

⁴ История преодоления эффективности гена *Sr31* через последовательный ряд мутационных изменений локальных рас патогена хорошо освещена в следующих работах:

Wanyera R., Kinuya M.G., Jin Y., Singh R. The Spread of Stem Rust Caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, with Virulence on *Sr31* in Wheat in Eastern Africa // Plant Disease. 2006. № 90 (1) P. 113

Park R., Fetch T., Hodson D., Jin Y., Nazari K., Prashar M., Pretorius Z. International surveillance of wheat rust pathogens – progress and challenges // Proceedings of BGRI 2010 Technical Workshop. P. 22–29

⁵ Singh R.P., Hodson D.P., Huerta-Espino J. et al. Will stem rust destroy the world's wheat crop? // Adv. Agron. 2008. 98. 310 p.

⁶ Лекомцева С.Н., Волкова В.Т., Зайцева Л.Г., Сколотнева Е.С., Чайка М.Н. Анализ вирулентности изолятов *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* с разных растений-хозяев // Микология и фитопатология. 2007. № 41(6). С. 554–563.

Сколотнева Е.С., Волкова В.Т., Зайцева Л.Г., Лекомцева С.Н. Вирулентность возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы в центральном регионе России в 2007–2008 гг // Микология и фитопатология. 2010. № 44 (4). С. 367–372.

нако как показали события лета 2010 г., существует вероятность установления на территории нашей страны погодных и транспортных (длительные ветры южных направлений) условий, благоприятных для развития и массового проявления инфекции при наличии восприимчивых сортов.

Среди основных способов распространения спор стеблевой ржавчины на первом месте стоит перенесение ветром¹. Велика вероятность заноса на одежде при въезде в страну из очагов инфекции². Таким образом, проблема носит глобальный характер и успех борьбы с расой Ug99 и ее модификациями зависит от интеграции усилий всех зернообрабатывающих стран.

Существует схема мероприятий по защите производственных посевов, осуществляемая как в развитых (США, Канада, Австралия), так и в развивающихся странах³. ИСКЛЮЧЕНИЕМ ЯВЛЯЕТСЯ РОССИЯ. Данное направление работы не поддерживается здесь ни правительственными программами, ни зарубежными фондами. Лаборатория фитопатологии в МГУ им. М.В.Ломоносова, созданная в 1955 г. М.В.Горленко⁴, продолжает вести наблюдения за патогеном. Однако, возможности лаборатории не позволяют проводить масштабный анализ популяции, ограничивая область исследования центральным регионом России. Очевидный для аэрогенной инфекции недостаток информации может обойтись стране гораздо дороже, чем своевременный мониторинг возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы. При этом в России, Украине и Белоруссии, в отличие от большинства стран, все еще НЕ проводилось генотипирование высеваемых сортов озимой и яровой пшеницы по признаку устойчивости к стеблевой ржавчине. Без данной процедуры невозможны разработка и введение в производство иммунных сортов пшеницы. Для решения этой комплексной проблемы необходимо объединение ряда институтов и экспериментальных станций. Нашими потенциальными партнерами являются ВНИИФ (Всероссийский Исследовательский Институт Фитопатологии), ВИЗР (Всероссийский Институт Защиты Растений), Томский Государственный Университет, а также коллеги из Новосибирска и Краснодара. Обеспечив соответствующую экспериментальную базу для анализа патогена, мы сможем привлечь их к сотрудничеству.

В настоящий момент ведется активный поиск источников финансирования для осуществления работ по проекту «Популяция возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы в России и поиск доноров устойчивости к патогену».

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов В.В. Последствия разрушения озонового слоя для биосферы // Изв. АН СССР. Сер. Биология. 1991. № 2. С.242–254.
2. Лекомцева С.Н., Волкова В.Т., Зайцева Л.Г., Сколотнева Е.С., Чайка М.Н. Анализ вирулентности изолятов *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* с разных растений-хозяев // Микология и фитопатология. 2007. № 41 (6). С. 554–563.
3. Раджарам С., Браун Х.Е. Потенциал урожайности пшеницы // Агроедиан. 2006. № 2(3). С. 5–12.
4. Сколотнева Е.С., Волкова В.Т., Зайцева Л.Г., Лекомцева С.Н. Вирулентность возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы в центральном регионе России в 2007–2008 гг. // Микология и фитопатология. 2010. № 44 (4). С. 367–372.
5. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация и глобальные катастрофы. М.: ЗАО «Геоинформмарк». 2002. 250 с
6. BGRI – The Bourlaug Global Rust Initiative (Всемирная инициатива по ржавчине имени Борлауга) [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.globalrust.org
7. Brown J., Hovmöller M. Aerial dispersal of pathogens on the global and continental scales and its impact on plant disease // Science. 2002. 297. P. 537–41
8. Park R., Fetch T., Hodson D., Jin Y., Nazari K., Prashar M., Pretorius Z. International surveillance of wheat rust pathogens - progress and challenges // Proceedings of BGRI 2010 Technical Workshop. P. 22–29
9. Roelfs A.P. Effects of barberry eradication on stem rust in the United States // Plant Disease. 1982. № 66. P. 177–181.
10. Singh R.P., Hodson D.P., Huerta-Espino J. et al. Will stem rust destroy the world's wheat crop? // Adv. Agron. 2008. № 98.310 p.
11. Travel Biosecurity page: www.grdc.com.au/biosecuritylinks
12. Wanyera R., Kinyua M.G., Jin Y., Singh R. The Spread of Stem Rust Caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, with Virulence on *Sr31* in Wheat in Eastern Africa // Plant Disease. 2006. № 90 (1). P. 113

¹ Brown J., Hovmöller M. Aerial dispersal of pathogens on the global and continental scales and its impact on plant disease // Science. 2002. № 297. P. 537–41

² Travel Biosecurity page: www.grdc.com.au/biosecuritylinks

³ BGRI – The Bourlaug Global Rust Initiative (Всемирная инициатива по ржавчине имени Борлауга) www.globalrust.org

⁴ Михаил Владимирович Горленко (1908–1994) – профессор МГУ имени М.В.Ломоносова, заведующий кафедры микологии и альгологии биологического факультета. Основные исследования связаны с изучением фитопатогенных организмов и продуцентов физиологически активных веществ. М.В.Горленко являлся крупным ученым в области теоретической и прикладной микологии. Его личные исследования внесли большой вклад во все разделы по теории видообразования у грибов и бактерий, теоретические основы паразитизма и иммунитета растений, в разработку научных основ борьбы с заболеваниями сельскохозяйственных культур. По его инициативе и непосредственном участии вышли в свет т. 2 «Жизни растений»(1975), «Грибы СССР»(1980). Им организованы исследования по биоповреждениям промышленных материалов и оборудования, он был одним из руководителей Научного Совета по биоповреждениям АН СССР. Под его руководством защищено 55 кандидатских и 5 докторских диссертаций.