

Международное положение с распространением заболевания Ug99 и усилия, предпринимаемые для смягчения угрозы его последствий

Р. П. Сингх¹, Д. П. Ходсон¹, Дж. Хуэрта-Эспино², И. Джин³, П. Нджау⁴, Р. Ваньера⁴, С. А. Херрера-Фоссель¹, С. Бхавани¹, Д. Сингх⁵ и П. К. Сингх¹

¹СИММИТ, Апдо. Почтовый индекс 6-641, 06600, Мехико, ФО, Мексика; ²ИИФАП-СЕВАМЕКС, Апдо. Почтовый индекс 10, 56230, Чапинго, Мексика; ³Министерство сельского хозяйства США-Служба сельскохозяйственных исследований, Лаборатория заболевания зерновых культур, Сент-Пол, Миннесота, США; ⁴Институт сельскохозяйственных исследований Кении – Исследовательский центр по селекции растений г. Нджоро (КАРИ-НПБРС), п/о Нджоро, Кения; и ⁵СИММИТ, Найроби, Кения.

Краткий обзор

Раса Ug99, или TTKSK, грибка *Puccinia graminis tritici*, поражающая стебли и вызывающая заболевание чёрной ржавчины пшеницы (*Triticum aestivum*), признана серьёзной угрозой для производства данного вида злака. Впервые она была обнаружена в Уганде в 1998 г. и впоследствии проникла в Восточную Африку, Йемен, Судан и Иран. Предполагается, что заболевание распространится в страны Северной Африки, Среднего Востока, Азии и далее, что вызывает особую озабоченность в связи с вероятностью возникновения эпидемии огромных масштабов, способной уничтожить урожаи пшеницы в различных регионах мира. Выявление двух новых разновидностей Ug99, TTKST и TTSSK, впервые обнаруженных в 2006 и 2007 гг. в Кении, с вирулентностью к генам *Sr24* и *Sr36* соответственно, доказывает стремительное развитие грибка Ug99. Разновидность TTKST явилась причиной свирепой эпидемии в 2007 г. в нескольких регионах Кении и поразила около половины сортов пшеницы, прежде известных своей устойчивостью к Ug99. Этот случай показал степень уязвимости в мировом масштабе. Проводимый в Кении и Эфиопии с 2005 г. тщательный скрининг образцов пшеницы, представленных на рассмотрение 22 странами и Международными центрами, выявил небольшое количество болезнеустойчивых сортов, которыми можно было бы заменить восприимчивые культуры. Разнообразные источники адекватной устойчивости, действующие как в отношении к определённой расе, так и ко взрослым растениям, доступны в настоящее время в высокоурожайных фенотипах пшеницы и используются при селекции. Угроза распространения Ug99 в большинстве стран может быть сведена к минимуму путём быстрого выявления заболевания, производству и поставке зёрен новых, высокоурожайных и болезнеустойчивых сортов.

Введение

Поражение пшеничного стебля, или чёрная ржавчина, причиной которого является грибок *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Eriks. и E. Henn., издавна известно своей способностью вызывать время от времени значительные опустошения посевов и считается в разных странах мира на всех континентах, где выращивается пшеница, самым опасным заболеванием. Согласно Саари и Прескотту (1985 г.), ржавчина пшеничного стебля представляет собой давнюю проблему на всём африканском континенте, на Среднем Востоке, в Азии, за исключением Центральной Азии, в Австралии и Новой Зеландии, Европе и Америке (Северной и Южной). Несмотря на то, что большинство эпидемий пшеничной ржавчины имели место в Эфиопии в 1993-1994 гг., во время которых больше всего пострадал популярный сорт пшеницы “Enkooy”, остальные страны мира в течение последующих трёх десятилетий заболеванию пшеничной ржавчины практически не подвергались.

Пшеничная ржавчина представляет собой пузырчатые пустулы продолговатого вида, или урединиумы, большей частью поражающие листовое влагалище пшеницы, а также ткани самого стебля, листа, оболочку зёрен и ость колоса. Пустулы пшеничной ржавчины развиваются на изнанке листа, но могут проникать и на его поверхность, вызывая незначительную споруляцию. Проникая во влагалище листа и оболочку зёрен, пустулы поражают эпидермис, в результате чего они приобретают неровный вид. Массы урединиоспор, образующиеся на пустулах, имеют коричневато-красный цвет и легко стряхиваются с растений. По мере роста растения урединиумы превращаются в телейтопустулы, меняя цвет с красного на тёмно-коричневый и чёрный, что и обусловило название заболевания, «чёрная ржавчина». Телейтопустулы крепко прикрепляются к тканям растения. Урединиоспоры распространяются на новые ткани того же самого растения или на растения, находящиеся в непосредственной близости, вызывая дополнительное инфицирование. Они также могут переноситься с ветром на большие расстояния.

Текущее положение с распространением расы Ug99

Грибок Ug99 впервые был обнаружен в Уганде в 1998 г. (Преториус и др., 2000 г.), хотя имеются сведения о том, что данная раса могла присутствовать в Кении ещё с 1993 г., и к 2003 г. распространилась на большинство засаженных пшеницей сельскохозяйственных площадей в Кении и Эфиопии. В 2005 г. Эфиопия официально подтвердила наличие заболевания по меньшей мере в шести районах, разбросанных по всей стране. Восточно-африканские возвышенности также известны как «горячие точки» развития и выживания новых рас ржавчины. Благоприятные погодные условия и наличие растений-хозяев круглый год создают все условия для выживания и роста патогенных популяций. Имеющиеся данные свидетельствуют о постепенном распространении Ug99 по основным направлениям воздушных потоков.

Подверженные грибку Ug99 сельскохозяйственные площади продолжают увеличиваться, и в число новых районов, кроме ранее известных, вошли три Восточно-африканские страны: Уганда, Кения и Эфиопия. В начале 2006 г. (февраль/март) пшеничная ржавчина была обнаружена в районе недалеко от Нью-Халфы в восточном Судане. Позднее в том же году (октябрь / ноябрь) были выявлены ещё минимум два очага поражения в восточном Йемене. Последующие анализы образцов расы, взятых из этих районов, официально подтвердили наличие Ug99 в вышеуказанных странах. Образцы ржавчины пшеничного стебля, взятые с двух сельскохозяйственных угодий в Иране в 2007 г. и проанализированные К. Назари (публикация «Заболевания растений»), также подтвердили их заражение расой Ug99. Наблюдаемая экспансия в новые районы соответствует сделанным прогнозам вероятного продвижения Ug99 (Ходсон и др. 2005 г., Сингх и др. 2006 г.) и вписывается в пошаговую модель распространения в виду преобладающих ветров. Сильная засуха в Иране в 2008 г. привела к потере значительной части урожая, хотя погодные условия не благоприятствовали развитию пшеничной ржавчины. Тем не менее, это не значит, что Ug99 больше не объявится в Иране в предстоящий вегетационный период при благоприятных условиях погоды.

Авирулентные / вирулентные гены в Ug99

Раса Ug99 – единственная известная раса *P. graminis tritici* с вирулентностью для гена *Sr31*, расположенном в транслокации 1BL.1RS из ржи (*Secale cereale*). Основываясь на северо-американской номенклатурной системе (Рольфс и Мартинс, 1988 г.), Ваньера и др. (2006 г.) присвоили ему название TTKS, а позднее - TTKSK, после того как в целях дальнейшего расширения характеристик был добавлен пятый набор дифференциалов (Джин и др., 2008 г.). Отличительной особенностью расы Ug99 является не только то, что она несёт вирулентность к гену *Sr31*, но также и то, что

данная уникальная вирулентность присутствует вместе с вирулентностью в большинстве генов пшеницы и вирулентностью к гену *Sr38*, введённого в пшеницу из *Triticum ventricosum*, имеющейся в нескольких европейских и австралийских культурах и небольшом количестве новой гермаплазмы СИММИТ (табл. 1, Джин и др., 2007 г.) Такая вирулентная комбинация, вероятно, отвечает за широкое распространение восприимчивости сортов пшеницы к Ug99 по всему миру. Вариант Ug99 с дополнительной вирулентностью к *Sr24* был открыт в 2006 г. в Кении. Ожидается, что может развиваться мутация по направлению к более сложной вирулентности. Поскольку популяция размеров грибов постоянно увеличивается, возникает острая необходимость в селекции популяции устойчивых видов.

Прогноз миграции грибка Ug99 в другие регионы выращивания пшеницы

Подробный анализ потенциального наступательного движения спор из очага инфекции можно провести на основании модели траектории переносимых по воздуху частиц «HYSPLIT», построенной НОАА (Национальным управлением по исследованию океана и атмосферы, США) (Дракслер и Рольф, 2003 г.). Данные исследования подтверждают выдвигавшуюся ранее гипотезу о том, что Йемен является лишь промежуточным пунктом для продвижения грибка на Средний Восток и в Азию. В табл. 1 продемонстрирована воздушная траектория движения частиц за 72 часа в вегетационный период 2006-2007 гг., при этом за основу был взят подтверждённый очаг инфекции грибом Ug99 Эль-Кедан в Йемене как источник распространения урединиоспор. Изображены траектории движения частиц с недельными промежутками в вегетационный период, во время которого в Йемене ожидалось наличие ржавчины в пшеничных стеблях, а в других районах - и в листьях пшеницы. Во время данного периода наблюдалась явная тенденция к воздушным траекториям, возникавшим в Эль-Кедане и ориентированным в северо-восточном направлении к районам выращивания пшеницы Саудовской Аравии, Ирака и Ирана. Похожие траектории распространения Ug99 в Иране свидетельствуют о том, что Иран может стать отправным пунктом для миграции Ug99 в Афганистан, Пакистан, Центральную Азию, Россию, на Кавказ и т.д.

Незамедлительное продвижение вперёд из восточного Судана представляет потенциально меньшую угрозу, поскольку воздушные потоки указывают на маловероятность прямого движения в северном направлении к важнейшим районам выращивания пшеницы в долине Нила. Несмотря на это, непостоянство и сложность воздушных потоков в этом регионе свидетельствуют о том, что возможность достижения спорами таких районов не следует полностью исключать. Кроме того, существует реальный риск того, что из Йемена споры могут продвинуться дальше на север по направлению к Аравийскому полуострову, достигнуть дельты Нила, а затем повернуть обратно на юг к долине Нила. Так, известно, что вирулентная раса жёлтой ржавчины *Yr9* достигла Египта вскоре после её обнаружения в Йемене. Судану нашествия жёлтой ржавчины удалось избежать, поскольку пшеница там растёт в сравнительно тёплом климате, который для распространения жёлтой ржавчины неблагоприятен.

В настоящее время однократного «случайного скачка» на длительное расстояние (искусственного или естественного) Ug99 зарегистрировано не было. Однако расширение известного набора патогенов и высокая мобильность населения как в региональном, так и в международном плане требуют постоянного контроля и наблюдения за районами выращивания пшеницы за пределами регионов, представляющих непосредственный риск. Присутствие вирулентного варианта *Sr24* грибка Ug99, обнаруженного в Кении в 2006 г., за пределами этой страны ещё не отмечалась несмотря на то, что в 2007 г. он широко распространился в форме эпидемии на кенийском нагорье в виде разновидности «Кения Мвамба», несущей *Sr24*.

Устойчивость/восприимчивость гермоплазмы пшеницы в настоящее время

В основных районах распространения заболевания в Кении и Эфиопии (в частности, в Нджоро в Кении и Кулумсе или Дебре-Зейт в Эфиопии) производился интенсивный отбор мировых образцов пшеницы, устойчивых к грибку Ug99. Имеющиеся данные отбора были связаны посредством имеющегося в наличии селекционного материала с базой данных по районам, засаженным уже известными культурами. К концу 2006 г. набор данных отбора был расширен за счёт включения гермаплазмы из 18 стран региона, включая Китай, с более подробными характеристиками устойчивости / восприимчивости, полученными из разновидностей культур, выращиваемых на общей площади в примерно 75 млн га. Разновидности с отмеченной устойчивостью к Ug99 произрастают лишь на 5% от общей указанной территории 18 стран мира. На обширных посевных площадях в Индии и Пакистане доминируют «мега-культуры» 'PBW343' и 'Инквалаб 91', известные своей восприимчивостью к Ug99. Дальнейший отбор дополнительных разновидностей из 22 стран, предпринятый Кенией в 2007 г., показал такой же низкий уровень сопротивляемости изученного материала. Благоприятные условия окружающей среды вместе с обширным заражением восприимчивых сортов пшеницы представляют собой большую угрозу для беспрепятственного распространения Ug99.

Стратегический план смягчения угрозы распространения Ug99 и достижение контроля над пшеничной ржавчиной

Сокращение площадей, засаженных восприимчивыми сортами, в районах риска Восточной Африки, Аравийского полуострова, Северной Африки, Среднего Востока и Западной и Южной Азии, является лучшим решением в случае необходимости избежания значительных потерь. «Всемирная инициатива Борлага против пшеничной ржавчины» использует следующие методы снижения вероятности масштабных эпидемий: 1) контроль за распространением расы Ug99 за пределами восточной Африки с целью как можно более раннего оповещения и вероятной химической интервенции, 2) отбор районированных сортов и гермаплазмы на предмет устойчивости, 3) распределение устойчивых сортов по всему миру либо с целью засеивания, либо для селекции и 4) селекция с целью инкорпорирования разнообразных резистентных генов и устойчивости взрослых растений в высокоурожайные адаптированные сорта и новые гермоплазмы.

Лучшей долгосрочной мерой смягчения последствий Ug99 является идентификация устойчивых сортов среди имеющегося в наличии материала или выведение устойчивых сортов, которые могли бы приспособиться к доминирующим условиям окружающей среды в странах повышенного риска, и распространить их после надлежащих испытаний, одновременно увеличивая производство семян. Агрессивная стратегия распространения таких устойчивых сортов на сельскохозяйственных угодьях является единственным практическим методом в силу скудности ресурсов фермеров Африки, Среднего Востока и Азии, которые не имеют средств на химический контроль или не могут применять химикаты в случае эпидемий большого масштаба, поскольку в то время, когда требовалось их применение, фермеры ими просто не располагали. Вполне вероятно, что снижение распространения заболевания в Восточной Африке, Йемене и Иране приведёт к уменьшению шансов миграции за пределы данных районов в другие районы риска, однако маловероятно то, что дальнейшая экспансия грибка Ug99 может быть остановлена на данном этапе.

Потенциальных эпидемий в результате распространения Ug99 или его разновидностей можно избежать, если снизить площади засева восприимчивых сортов пшеницы в основных районах риска на пути предполагаемого распространения заболевания. Проведённый в Кении отбор в 2005, 2006 и 2007 гг. установил наличие нескольких устойчивых районированных сортов или улучшенного селекционного

материала на различных стадиях испытаний в образцах, представленных большинством стран. Ещё одна стратегия заключается в том, чтобы по крайней мере 5% от общих посевных площадей пшеницы всего региона, где выращивается этот злак, были готовы к засеву лучшими, высокоурожайными устойчивыми сортами. Эту задачу можно осуществить с помощью поставки семян в случае подтверждения заражения грибом Ug99 в той или иной стране. Тем не менее, массовое распространение устойчивых сортов будет представлять определённые трудности в случае, если данные сорта по сравнению с более привычными сортами не популярны среди фермеров, ранее не сталкивавшихся с пшеничной ржавчиной. Более того, выращивание худших по качеству устойчивых сортов не является выходом из сложившейся ситуации, поскольку это негативно скажется на производстве зерна в то время, как мировые запасы пшеницы находятся на самом низком уровне, ведя к резкому повышению цен на пшеницу.

Идентификация и распространение новых, устойчивых к пшеничной ржавчине сортов, зарекомендовавших себя как значительно повышающие уровень урожайности по сравнению с существующими сортами, вместе с другими желательными характеристиками является, вероятно, лучшей стратегией на пути их скорейшего использования в сельском хозяйстве, что привело бы к успешному замещению существующих популярных сортов, восприимчивых к заболеванию. Это вполне достижимая цель, поскольку большинство существующих в настоящее время популярных сортов были выведены в начале и середине 1990-х гг., и потенциально возможный урожай гермоплазмы новой яровой пшеницы с тех времён значительно увеличился. Испытания новых линий пшеницы, устойчивой к Ug99, проведённые в разных странах, показали, что выведение новых сортов пшеницы с более высоким потенциальным урожаем по сравнению с существующими сортами может стать реальностью. В настоящее время большое внимание уделяется увеличению запасов семян таких сортов пшеницы.

Ссылки

- Р. Р. Дракслер и Г. Д. Рольф. 2003. "HYSPLIT («Интегрированная гибридная траектория отдельно взятой частицы на основе функции Лагранжа»), <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>. (по состоянию на 29 ноября, 2007 г.). Лаборатория изучения авиационных ресурсов НОАА, Силвер Спринг, Мэриленд.
- Д. П. Ходсон, Р. П. Сингх, Дж. М. Диксон, 2005. «Начальная оценка потенциальных результатов заболевания пшеничной ржавчины (раса Ug99) в регионах выращивания пшеницы стран Африки и Азии с помощью ГИС. Отрывки. 7-я Международная конференция по пшенице». стр. 142. 27 ноября – 2 декабря 2005 г. Мар Дель Плата, Аргентина.
- И. Джин, Р. П. Сингх, Р. В. Ворд, Р. Ваньера, М. Киньюя, П. Нджау, Т. Фетч, З. А. Преториус и А. Яхьяоуи. 2007. «Характеристика инфекционных типов всходов и реакции на инфекции взрослыми растениями моногенных *Sr*-линий генов на расу TTKS *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Заболевания растений». 91:1096-1099.
- И. Джин, З. А. Преториус, Р. П. Сингх и Т. Фетч-мл. 2008. «Определение вирулентности к резистентному гену *Sr24* в расе TTKS *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Заболевания растений». 92:923-926.
- З. А. Преториус, Р. П. Сингх, В. В. Вагойр, Т. С. Пайн. 2000. «Определение вирулентности к гену *Sr3*, резистентному к ржавчине пшеничного стебля в *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* в Уганде. Заболевания растений». 84:203.
- А. П. Рольфс и Дж. В. Мартенс. 1988. «Международная система номенклатуры для *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Фитопатология». 78:526-33.
- И. И. Саари и Дж. М. Прескотт. 1985. «Мировое распределение в отношении экономических убытков». Публикация в «Ржавчина злаковых культур. Т. II;

Заболевания, распространение, эпидемиология и контроль» (А. П. Рольфс и В. Р. Бушнелл, испр. изд.), стр. 259-98. Изд-во академии, Орландо.

Р. П. Сингх, Д. П. Ходсон, И. Джин, Дж. Хуэрта-Эспино, М. Киньюа, Р. Ваньера, П. Нджау и Р. В. Вард. 2006. «Текущее положение, потенциальная миграция и методы смягчения последствий угрозы производству пшеницы в результате действия расы Ug99 (TTKS) на патоген пшеничной ржавчины. Рецензия Центра сельскохозяйственных биотехнологий: Перспективы развития сельского хозяйства, ветеринария, питание и национальные ресурсы». 1: 54.

Р. Ваньера, М. Г. Киньюа, И. Джин и Р. П. Сингх. 2006. «Распространение пшеничной ржавчины вследствие *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* с вирулентностью на *Sr31* в пшенице, выращиваемой в Восточной Африке. Заболевания растений». 90, 113.

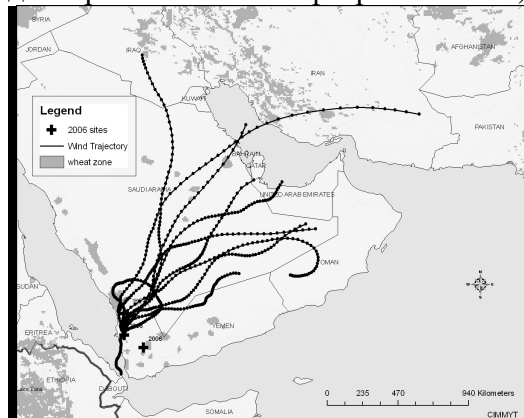
Таблица 1. Происхождение и применение выделенных *Sr*-генов при сравнении сопротивляемости всходов и / или взрослых растений расе Ug99 патогена пшеничной ржавчины *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*

Местонахождение <i>Sr</i> -генов	<i>Sr</i> -гены, резистентные к пшеничной ржавчине	
	Неэффективные	Эффективные
	5, 6, 7a, 7b, 8a, 8b, 9a, 9b, 9f, 10, 15, 16, 18, 19, 20, 23, 30, 41, 42, Wld-1	28 ¹ , 29 ² , Tmp ¹
<i>Triticum aestivum</i>		
<i>Triticum turgidum</i>	9d, 9e, 9g, 11, 12, 17	2 ² , 13 ^{1,2} , 14 ¹
<i>Triticum monococcum</i>	21	22, 35
<i>Triticum timopheevi</i>		36 ¹ , 37
<i>Triticum speltoides</i>		32, 39
<i>Triticum tauschii</i>		33 ² , 45
<i>Triticum comosum</i>	34	
<i>Triticum ventricosum</i>	38	
<i>Triticum araraticum</i>		40
<i>Thinopyrum elongatum</i>		24 ¹ , 25, 26, 43
<i>Thinopyrum intermedium</i>		44
<i>Secale cereale</i>	31	27 ¹ , 1A.1R ¹ , R

¹ Вирулентность для гена возникает в других расах.

² Указанный уровень устойчивости обычно не достаточен.

1. Траектории воздушного передвижения частиц, полученные на основе модели HYSPLIT и возникшие в подтвержденном очаге инфекции (Эль-Кедан, Йемен) грибом Ug99 (траектории отражают еженедельные 72-часовые передвижения частиц с 1 декабря 2006 г. по 28 февраля 2007 г.)



СТАТУС И ВЛИЯНИЕ TTKS (UG99) В КЕНИИ

Рут Ваниера, Кенийский Институт Сельскохозяйственных Исследований (KARI) -
Нджоро, а/я, Нджоро- 20107, Кения

Email: wanyera@plantprotection.co.ke / wanyera@karinjoro.org

Пшеница (*Triticum aestivum*) – одна из самых важных зерновых культур, выращиваемых в Кении. Это одна из зерновых культур, которые вносят значительный вклад в обеспечение продовольственной безопасности страны. По значимости она стоит на втором месте после кукурузы в Кении. У этой зерновой культуры большой потенциал в стране, так как она выращивается в различных аграрно-экологических зонах. Настоящая площадь производства приблизительно равна 150 000 га. Потребление составляет 750 000 метрических тонн и ожидается, что возрастет до 1 000 000 метрических тонн к 2015 году. Спрос на потребление, диктуемый ростом населения, увеличением урбанизации и изменяющимися рационами питания, возрастает приблизительно на 7% в год. Годовое производство составляет 350 000 МТ, но спрос составляет 750 000 МТ. Это означает, что местное производство обеспечивает только 40% общего объема потребления, следовательно, Кения импортирует 60% необходимой пшеницы.

Последние 20 лет объем производства непрерывно увеличивался. Годовое производство увеличилось со среднего показателя 1,9 тонны с гектара в 1987 году до 2,5 тонн с гектара в 2005 году. Это увеличение было приписано улучшенному разнообразию различных аграрно-экологических зон. Эта тенденция скорее всего изменится из-за возникновения нового грибкового заболевания пшеницы Ug99 и одновременным ростом цен на сельскохозяйственную продукцию. С начала производства пшеницы в Кении в 1927 году до ранних 1980-х годов стеблевая ржавчина, вызываемая грибом *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*, несомненно, была самой серьезной болезнью из трех заболеваний, связанных с ржавчиной, и поэтому селекционной командой ее изучению был отдан высокий приоритет. Вскоре было выявлено множество штаммов, и к 1983 году большинство сортов были испорчены, а в Восточной Африке было зарегистрировано двадцать три штамма стеблевой ржавчины. Благодаря широкому использованию устойчивых сортов, эта болезнь была незначительной проблемой, пока ее следы не были зарегистрированы в некоторых сортоиспытаниях в Кении а период между 1985-1988 годами. Тяжелые эпидемии продолжали возникать у сортов коммерческой мягкой пшеницы и интродукций новых сортов с 1992 года.

В 1999 году новый штамм стеблевой ржавчины, известный под кодом Ug99, был зарегистрирован в Уганде. Этот опасный штамм был подтвержден в Кении и Эфиопии с 2005 года и распространился в Йемен и Иран.

На сегодняшний день стеблевая ржавчина представляет серьезную угрозу всем сортам коммерческой мягкой пшеницы, произрастающим в Кении, потому что все сорта восприимчивы к ней. Например, сорта пшеницы, отобранные в 2003 и 2004 годах, были инфицированы стеблевой ржавчиной и уровень инфицированности различался от сорта к сорту на трех участках (Нджоро, Мау-Нарок и Элдорет). Инфицирование пшеницы новым штаммом может привести к снижению качества и количества пшеничных зерен в течение нескольких недель.

Ранее отмечалось и считалось, что стеблевая ржавчина возникает, в основном, в низких областях, расположенных на высоте 1800 метров над уровнем моря. Теперь же вспышка заболевания широко распространилось на все регионы произрастания пшеницы в стране – в высокогорные, средние и низкие области. Это означает, что заболевание сейчас распространено и в высокогорных областях (2700 – 3000 метров

над уровнем моря). Темп распространения заболевания за эти годы настолько увеличился, что в 2007 году уровни эпидемии были замечены на фермерских полях. Большинство фермеров оказались не готовы к этому, потому что никогда раньше они не видели ее проявления, а также потому, что еще не было разработано фунгицидов, позволяющих бороться со стеблевой ржавчиной. Проведенная работа и недавние опросы в районах выращивания пшеницы показали, что эпидемии стеблевой ржавчины причиняют ущерб зерновым до 70% на экспериментальных участках и больше 70% на фермерских полях. Это о выходе продукции опрысканных и не опрысканных урожаев пшеницы. Опрыскивание только уменьшает, но не устраняет заболевание. Поэтому можно получить более высокий выход потерь продукции, чем приведенный по сравнению с чистым урожаем. В 2007 году фермеры, совсем не контролирующие болезнь, потеряли 100% урожая вне зависимости от разновидности.

На сегодняшний день большинство исследований по выведению разновидностей пшеницы управляется Кенийским Институтом Сельскохозяйственных Исследований (KARI) в Исследовательском Центре г. Нджоро, официально уполномоченным органом, финансируемый Кенийским правительством и другими международными финансирующими организациями. После идентификации Ug99 были проведены обширные исследования и сбор ржавчины проводился с 2002 года – все районы выращивания пшеницы в Кении были подвержены проблеме заражения стеблевой ржавчины. В исследованиях коммерческих сортов пшеницы, КС Мвамба, было выяснено, что носитель гена Sr 24 был разрешен в 2007 году. Эта особая разновидность охватывает очень большую область регионов, в которых выращивают пшеницу. Анализ штаммов был/проводится в сотрудничестве Кенийского Института Сельскохозяйственных Исследований г. Нджоро и Лаборатории по исследованию ржавчины хлебных злаков при Университете Миннесоты, Св. Павла, США. Кроме TTKSK (Ug99) и TTKST (Ug99+Sr24 вирулентности) была идентифицирована одна раса и подтверждено, что она – TTTSK (Ug99+Sr36 вирулентности). В этом году около 42 сборов стеблевой ржавчины были высланы в Исследовательский центр зерновых, Сельского хозяйства и аграрных продуктов в Канаде и 20 в Лаборатории по исследованию ржавчины хлебных злаков.

В KARI – Нджоро смогли проверить более 20 998 (как яровых, так и озимых сортов) линий пшеницы в основные сезонные инкубаторы в 2008 году из более чем 20 сотрудничающих стран по всему миру. В этом году гнет болезни и эпидемий были настолько серьезны, что их тяжесть варьировалась от TR-100S.

Более 200 селекций показали некоторый уровень устойчивости, достигнутый в международных инкубаторах. Сбор урожая с этих селекций еще в процессе. Записи о болезни все еще собираются для линий позднего созревания и для озимых сортов.

В 2008-2009 годах для внесезонного инкубатора планируется вырастить под орошением более 5 574 линий (исключая записи CIMMYT), как яровых, так и озимых сортов. Полевые выборки коммерческих и старых сортов были продолжены в районах KARI – Нджоро, Мау-Нарок и Уасин-Гишну.

Методы и способы контроля заболевания, включая данные ГИС и трекинг

¹Амор Яхьяоуи, ¹Кумарзе Назари, ³Дэйв Ходсон, ⁴Кейт Крессман, ⁵Вафа, Кхоури;
⁶Османи Абдалла

¹Координатор программы ИКАРДА-СИММИТ по улучшению пшеницы; ²Патолог по зерновым культурам, ИКАРДА; ³Специалист по ГИС, СИММИТ; ⁴Специалист по прогнозу нашествия саранчи ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация) / ДЛИС (Служба информации по нашествию пустынной саранчи); ⁵Специалист по сельскому хозяйству АГПП (Организация по предотвращению загрязнения сельскохозяйственными отходами) / ФАО; ⁶Специалист по выращиванию яровых сортов пшеницы, ИКАРДА

Заболевание пшеничной ржавчины продолжает оставаться самым опустошительным растительным патогеном в мире. Наиболее распространёнными видами ржавчины являются стеблевая, или чёрная ржавчина пшеницы (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*), жёлтая ржавчина (*Puccinia striiformis tritici*) и листовая, или бурая ржавчина (*P. recondita*). Несмотря на то, что условия, благоприятные для каждого из вышеуказанных видов ржавчины, слегка отличаются друг от друга, все эти виды повсеместно распространены везде, где выращивается пшеница. Часто они могут сосуществовать на одном и том же поле на разных стадиях роста пшеницы и при различных погодных условиях. В развивающихся странах заболевание ржавчины, особенно стеблевой и листовой, считается основным биологическим фактором, сдерживающим производство пшеницы, что объясняется способностью патогена быстро развиваться в новых расах и мигрировать на длительные расстояния благодаря переносу воздушным путём.

В 1980-90-х гг. мир пережил ряд крупных эпидемий жёлтой ржавчины, вызванных *Puccinia striiformis* (рис.1. Путь вирулентности Yr9) и ставших результатом нарушения устойчивости гена Yr9 к жёлтой ржавчине, присутствующего в ряде высокоурожайных сортов, выращиваемых в странах Южной, Западной и Центральной Азии, а так же наличия неизвестного гена (генов) в отдельных сортах, культивируемых в Китае. Вирулентный штамм такой ржавчины переместился из Восточной Африки через Йемен на Ближний Восток, в Центральную Азию, Пакистан и Индию, нанеся урон урожаю в несколько сот миллионов долларов и негативно сказавшись на жизни миллионов бедных фермерских хозяйств. Потенциальный вред пшеничной ржавчины особенно серьёзен в регионах Центральной и Южной Азии, на Ближнем Востоке и в Северной Африке, где произрастает до 23% пшеницы от всего мирового объёма. В 1999 г. в высокогорьях Уганды развилась тяжёлая форма патотипа стеблевой ржавчины, известная сейчас под названием Ug99. Данный патотип обладает высокой вирулентностью и способен нанести невероятный урон большинству распространённых в мире сортов пшеницы. Он может затронуть наиболее популярные сорта, выращиваемые в таких странах, как Кения, Эфиопия, Йемен, Египет, Судан, Турция, Иран, Афганистан и Пакистан, которые находятся на пути предполагаемого распространения Ug99. Контроль за развитием и миграцией нового вирулентного штамма расы стеблевой ржавчины “Ug99” представляет собой первоочередную задачу в силу ряда причин, а именно: 1) несколько выращиваемых в настоящее время сортов несут гены, устойчивые к определённой расе и имеющие непродолжительный жизненный цикл; 2) такие сорта выращиваются на обширных сельскохозяйственных площадях в ряде стран; 3) те же самые гены, обладающие устойчивостью к нескольким видам ржавчины, внедрены в сорта пшеницы, выращиваемые в настоящее время в разных странах мира. В табл. 1 даны примеры реакции сортов пшеницы на вирулентность Ug99, проанализированные в Нджоро, Кения и представленные странами, находящимися в зоне непосредственного риска.

В 1995 г. Задоксом было проведено первое экспериментальное исследование под названием «Международный испытательный проект по жёлтой ржавчине». Данный проект состоял из исследования экспериментальных сортов пшеницы, выращиваемых в нескольких регионах Европы и некоторых других областях. Учёный продемонстрировал, что патогенная изменчивость, выявленная на сельскохозяйственных полях, расположенных в разных странах и засеянных разными сортами пшеницы, дала достоверную информацию о возникновении заболевания жёлтой ржавчины и соответственной патогенной изменчивости. Исследование было дополнено анализом расы, проведённым ныне покойным д-ром Роном Стаббсом, который позднее, совместно с д-ром Джинном Саари, СИММИТ, предоставил полученные данные всем причастным к данной проблеме национальным программам. С начала 1997-х гг. СИММИТ принял решение о проведении расширенных исследований и включил наблюдение за заболеванием ржавчины в программу своей деятельности.

Миграция в огромном масштабе патогенов ржавчины и недостаток средств и опыта в странах ЦЗАСА доказали необходимость расширения региональной сети по борьбе со ржавчиной пшеницы. В середине 1980-х гг. ИКАРДА провёл свои первые исследования в долине Нила и Красного моря, включая Египет, Эфиопию, Судан и Йемен, ранее не охваченные научными изысканиями Саари. Ещё большее количество региональных сетей по борьбе со ржавчиной были развернуты в регионе ЦЗАСА в 1990-х гг., а к началу 2000 г. ими были охвачены все виды ржавчины; с 2005 г. особое внимание уделяется стеблевой ржавчине с целью контроля за распространением Ug99.

1-я Система контроля за ржавчиной хлебных злаков в странах ЦЗАСА

Наблюдение за ржавчиной хлебных злаков проводится ИКАРДА и НАРС (Национальной системой сельскохозяйственных исследований) с 1980-х гг. Долина Нила и Красное море были первыми районами, охваченными сетью по борьбе с ржавчиной хлебных злаков, финансируемой из основных фондов и из фондов для специальных проектов ИКАРДА.

- Сеть по борьбе с ржавчиной хлебных злаков в долине Нила и Красного моря, основанная в середине 1980-х гг., включила Египет, Эфиопию, Судан и Йемен.
- Работами по борьбе с ржавчиной и другими заболеваниями хлебных злаков, начавшимися в Западной Азии и Северной Африке в середине 1990-х гг., были охвачены Марокко, Алжир, Тунис, Сирия, Ирак, Иран и Турция.
- Работы по борьбе с жёлтой ржавчиной в Центральной и Западной Азии начались после первой Региональной конференции по жёлтой ржавчине, состоявшейся в Иране в 2001 г., и проводились на Кавказе (Азербайджан, Армения, Грузия), в Центральной Азии (Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Туркменистан, Узбекистан) и в Западной Азии (Ливан, Иран, Пакистан, Сирия, Турция). Данные работы частично финансировались АСИАР (австралийским центром по международным сельскохозяйственным исследованиям) при сотрудничестве с РВИ (Институт селекции растений, Австралия), SPII (Институт селекции семян и растений, Иран), ИКАРДА и СИММИТ.

Организация работ по борьбе с пшеничной ржавчиной основывалась на проведённых в полевых условиях исследованиях и анализах, сделанных в питомниках-ловушках пшеничной ржавчины.

Концепции питомников-ловушек пшеничной ржавчины

Питомник-ловушка пшеничной ржавчины включает в себя дифференциальные линии, расположенные рядом с изогенными линиями сортов пшеницы с установленными

генами, устойчивыми в различных климатических условиях, а также сорта, выращиваемые на обширных сельскохозяйственных площадях в исследуемых странах, и элитные сорта пшеницы. Состав питомников-ловушек будет пересматриваться и обновляться каждые 3 года.

а. Плановый питомник-ловушка известен под названием «питомник-ловушка Ug99 (Ug99SRTN)» и предназначен для проведения основной диагностики стеблевой ржавчины отдельных линий генов на предполагаемом пути распространения Ug99 с целью быстрого распознавания и принятия мер по его устранению (табл. 2); подобным образом организован и ловушка-питомник Yr27YRTN, нацеленный на контроль вирулентности Yr27 в регионах Центральной и Западной Африки, на Кавказе и в Южной Азии.

б. Универсальный питомник-ловушка, или питомник-ловушка стеблевой ржавчины (SRTN), а также питомник-ловушка жёлтой ржавчины (YRTN), включает селекционные устойчивые гены SR и YR, а также сорта пшеницы с установленной устойчивостью генов с целью окончательного определения эффективности / неэффективности их выращивания в разных регионах (табл. 3).

в. Национальные питомники-ловушки пшеничной ржавчины собираются NARS для последующего отправления их в различные агро-климатические зоны в пределах страны. Такие питомники содержат более широкий спектр местного гермаплазма (культивируемых и элитных сортов) и гены с установленной устойчивостью к ржавчине. Подобные питомники-ловушки уже действуют в Марокко, Иране, Эфиопии, Пакистане, а также в Индии и, возможно, будут установлены в Китае.

Использование питомников-ловушек характеризуется следующими положениями: 1) такие питомники помогут странам, не располагающим собственными лабораториями и опытом, в оценке изменчивости популяции ржавчины (анализ расы, всходов и взрослых растений с использованием искусственного заражения); 2) кроме оценки генов всходов, устойчивых к определённой расе, питомники-ловушки поставляют другую ценную информацию на реакцию устойчивых генов взрослых растений, выращиваемых на фермерских полях, и / или источники генов APR; 3) взаимодействие устойчивых генов / источников устойчивости к условиям окружающей среды в различных высокоурожайных основных сортах может оцениваться в условиях естественного заражения; следовательно, это позволяет судить об эффективности / неэффективности устойчивых генов; 4) взятие образцов отдельных заражённых устойчивых генов для анализа расы в случаях необходимости сможет поставлять предварительные данные по изменению патогенов; 5) заболевание пшеничной ржавчины в естественных полевых условиях может оцениваться по биологическим дифференциалам и позволит наблюдать за изменениями типов инфекции по дифференциалам и коммерческим сортам, а также оценить эффективность устойчивых генов в пределах страны; 6) информация, полученная в результате проведения национальных программ, позволяет составить распространяемую на региональных уровнях годовую отчётность на основании данных, поставленных различными областями отдельно взятой страны; 7) организуются ежегодные заседания, в ходе которых происходит обмен полученной информацией координаторами национальных программ.

2. Полевые наблюдения

Программа наблюдения за ржавчиной хлебных злаков будет включать в себя не только испытания биологических питомников-ловушек (морфологический анализ популяций

грибка ржавчины и оценка эффективности / неэффективности устойчивых генов), но и составление карт ГИС, сходными с картами, предназначенными для контроля за миграцией саранчи, что будет содействовать развитию и вводу в действие глобальных систем оповещения и принятия решений и что, в свою очередь, обеспечит своевременное планирование контрольных мер и целевого управления заболеваниями пшеничной ржавчины. По завершении их внедрения полученная совокупность данных создаст условия для контроля национальными программами за ежегодным изменением состояния пшеничной ржавчины и будет своевременно поставлять информацию по распространению и составу популяций ржавчины в основных районах выращивания пшеницы в пределах страны, региона и, в конечном итоге, в мировом масштабе посредством сотрудничества на региональном / глобальном уровне.

Региональное / глобальное сотрудничество по контролю за эволюцией и миграцией новых рас грибка пшеничной ржавчины

Контроль за эволюцией и миграцией новых вирулентных рас должен стать первоочередной задачей в силу следующих причин: 1) споры грибков способны сводобно перемещаться на длительные расстояния; 2) несколько широко культивируемых в настоящее время сортов обладают восприимчивостью к Ug99 (табл. 2); 3) поскольку такие сорта выращиваются в разных странах, эпидемия, распространившаяся на сорта, производные от Veery#5 (относящиеся к Yr 9), является ярким примером того, что свыше 60 разновидностей, известных во всём мире под разными названиями, на самом деле происходят от Veery и несут тот же самый устойчивый ген Yr9. Популярность среди агрономов сорта «Кауз» может привести к эпидемии. Он содержит гены Yr9, Yr27 и Yr 18 и несколько производных, таких как «Инквилаб 92», содержащий ген Yr27; PBW343 – комбинацию генов Yr9 и Yr27; «Бакхтатар 94» (Пакистан); WH542 (Индия); «Чам 8» (Сирия); «Сейхан 95» (Турция); «Атрак» (Иран); «Набта» (Судан); «Махдия» (Марокко).

Часто политическая напряжённость в регионе не позволяет учёным в отдельных странах сотрудничать и общаться друг с другом напрямую, поэтому для координации подобных усилий присутствие таких придерживающихся политического нейтралитета институтов, как ИКАРДА и СИММИТ, представляется особенно важным. Также будет необходимым проведение анализа сортов в очагах поражения за пределами региона, так как вирулентность для важных устойчивых генов уже может присутствовать в патогенных популяциях в этих регионах. Сотрудничество с институтами перспективных исследований на основе ДНК-дактилоскопии изолятов ржавчины необходимо для анализа путей пшеничной ржавчины вследствие стремительной эволюции вирулентности ржавчины хлебных злаков. Так, например, недавно было установлено, что вирулентность (расы) развивается на два-три порядка быстрее, чем случайная ДНК. Контрольная лаборатория по ржавчине хлебных злаков открыта в Дании.

Системы раннего оповещения и принятия решений – связующее звено всех составляющих проекта

Немедленная угроза, исходящая от Ug99, выводит на первый план развитие базовой структуры в регионах, представляющих первостепенную важность в силу того, что они являются крупнейшими производителями пшеницы в Африке (восточной, южной и северной) и на Среднем Востоке. Последствия бездействия могут обернуться гораздо большими потерями, чем затраты, связанные со своевременной реакцией. Система принятия решений (DSS) поможет предотвратить крупные эпидемии и станет связующим звеном всех основных составляющих проекта, а в ходе последующего её распространения она охватит и другие разновидности ржавчины и задействует другие

географические области. ГИС будет способствовать интеграции всех факторов, ускорению связей между разрозненными базами данных и, как следствие, принятию решений. Моделирование воздушных патогенных траекторий, основывающихся на текущих метеорологических условиях, интеграция дистанционного зондирования, сельскохозяйственная статистика и другие второстепенные данные предназначены для адресной направленности работ в очагах инфекции. В числе прочего, DSS будет базироваться на точной информации о развитии новых рас и их последующего распределения; на эффективности устойчивых генов; при этом распространение и принятие новых стойких (обладающих двойной устойчивостью) изменчивостей будет гарантией жизнеспособности урожая небольших фермерских хозяйств. В экстренных случаях для снижения количества инокулята и предотвращения последующего распространения вирулентных рас ржавчины может быть разрешено безопасное использование химикатов в такое время и на таких площадях, где это будет представляться экономически обоснованным. Отсюда следует вывод, что DSS должна быть тесно связана с социоэкономической деятельностью с тем чтобы обеспечить её экономически целесообразное адекватное применение.

Превращение национальных систем контроля в глобальную систему мониторинга

Структурными элементами глобальной системы контроля являются функциональные системы на региональном уровне. Национальные системы контроля являются ключевыми системами поставки данных, требующие: 1) активного проведения контроля и установки питомников-ловушек в очагах инфекции; 2) процедур эксплуатации и распределения питомников-ловушек; 2) основания лабораторий по патотипам с квалифицированным персоналом, проводящим коллективный анализ образцов, представленных группой наблюдения; 4) принятия процедур представления образцов, контроля за качеством, хранения и доступа к данным по случаям заражения, сложности заболевания и составу инфекций пшеничной ржавчины, обнаруженных в урожае в крупных питомниках и питомниках-ловушках. К странам, которым предназначена адресная помощь, относятся крупнейшие производители пшеницы в Восточной Африке (Эфиопия, Кения, Судан и Эритрея), в долине Нила и Красного моря (Йемен, Египет, Саудовская Аравия) и страны, занимающие второе место по потребности в помощи подобного рода: Индия, Пакистан, Марокко, Тунис, Алжир, Турция, Сирия, Казахстан, Узбекистан и Азербайджан. Эти страны обладают разным опытом, знаниями и физическими ресурсами, требующимися для выполнения контроля за ржавчиной выращиваемой ими пшеницы. Исследователи консультативной группы будут содействовать основанию и функционированию национальных систем контроля. Учёные всего мира также будут заниматься координацией необходимого обучения, сбором данных и их анализом. Кроме того, они будут обеспечивать поставку семян генотипов, взятых из соответствующих питомников-ловушек.

Для того чтобы уменьшить / предотвратить угрозу Ug99 и избежать / снизить развитие более сложных рас ржавчины пшеницы, произрастающей за пределами того или иного государства, имеется срочная потребность в развитии глобальной системы контроля за заболеваниями ржавчины хлебных злаков и, в конечном итоге, в установлении глобальных систем оповещения и принятия решений, что позволило бы предотвратить огромные потери урожая, приводящие к разорению как бедных фермеров Африки, так и затрагивающие крупные фермерские хозяйства, которые вынуждены применять химикаты, увеличивающие стоимость производства и отрицательно действующие на окружающую среду.

Понимание НАРС патогенных и генотипных изменчивостей грибка ржавчины заметно увеличилось по мере наращивания её потенциала; в разных агро-экологических регионах организованы национальные группы по контролю за ржавчиной; во время сезона урожая на региональном уровне проводятся регулярные наблюдения; при ФАО

основан координационный отдел по контролю и сбору данных; созданы постоянно действующие национальные испытательные участки питомников-ловушек; ИКАРДА и СИММИТ организовали непрерывное обеспечение генотипов семян пшеницы в питомниках-ловушках; производится координация работы групп по контролю посредством регулярного обучения и взаимодействия; в результате интенсивного обучения технического персонала и фермеров происходит наращивание потенциала национальных программ по контролю за пшеничной ржавчиной.

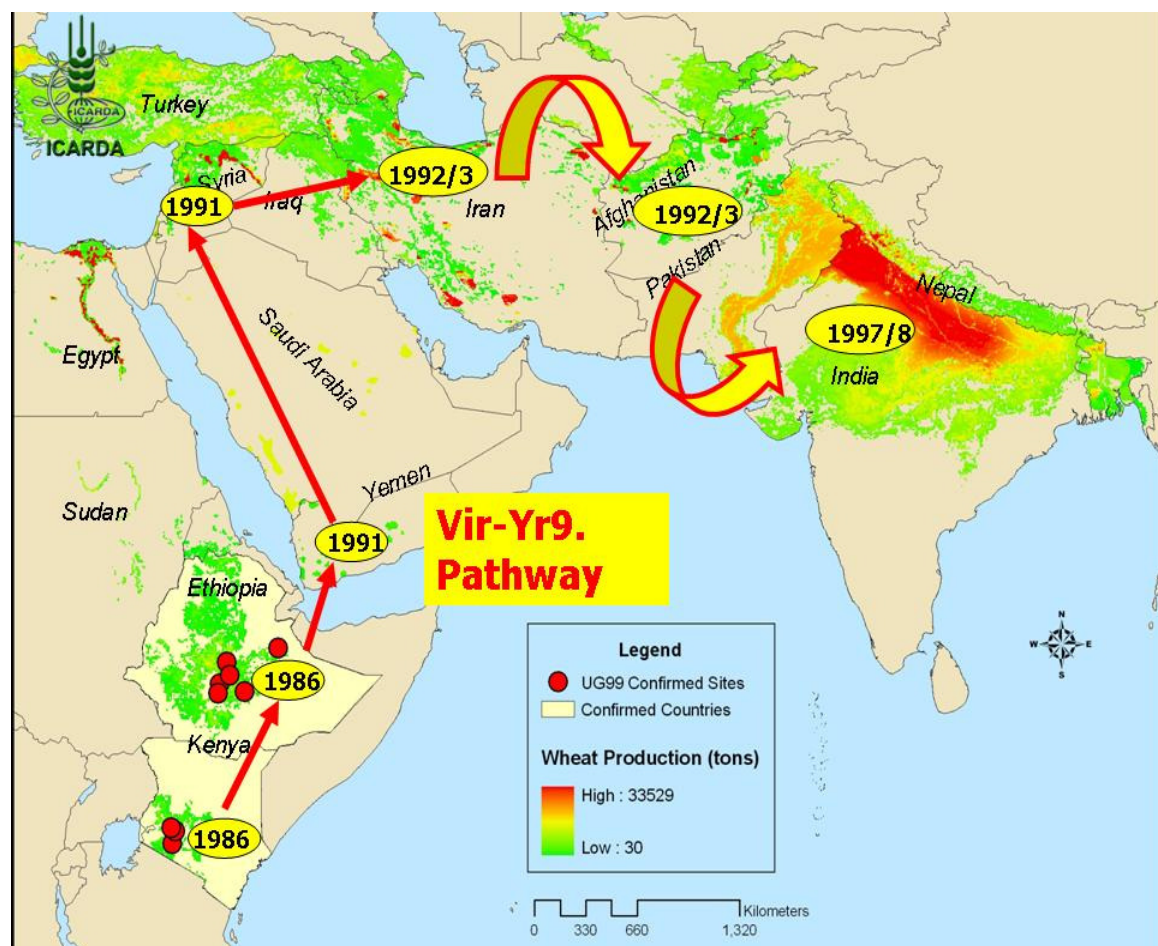


Рис. 1. Путь распространения вирулентности Yr9 жёлтой ржавчины

Таблица 1: Уровни устойчивости сортов пшеницы и элитных селекционных сортов, прошедших испытания в Нджоро, Кения, в 2006 г.

Страна	Общее кол-во	R/MR	S	Страна	Общее кол-во	R/MR	S
Бангладеш	84	3	81	Иран	100	2	98
Китай	118	2	116	Непал	105	2	103
Египет	149	3	146	Пакистан	105	6	99
Индия	102	23	79	Россия	35	1	34

Таблица 2: Питомник-ловушка гена Ug99 (Ug99 SRTN) стеблевой ржавчины

Генотип	SR-ген	Генотип	SR-ген
Морокко	анализ чувствит.	Павон 76	Sr 2 комплекс
Сери 82	Sr 31	Бак-бак	Sr 2 , Sr 23
PBW343	Sr 31	Ламилло (Дурум)	
LcSr24Ag	Sr 24	Рихане (ячмень)	
St24(агент)/9*LMPG	Sr 24	ISr6-Ra	Sr 6
W2691 SrTt-1	Sr 36	Вернштайн	Sr 9e
Игл	Sr 26	St46Sr13	Sr13
Супер-сери	Sr 25	Sr22/TB	Sr 22
LcSr25Ars	Sr 25	CnSSrTmp	Sr Tmp
Корунг (Тритикэйл)	Sr 27	Bt/Wld	Sr Wld-1
Бакхтавар 94 (Кауз)		Линия А Селн	Sr 14
Кук	Sr 36	W2691Sr28Kt	Sr 28
Алтар (Дурум)			

Таблица 3: Места испытания (страна / количество испытательных участков) питомников-ловушек ржавчины пшеницы урожая 2007-2008 гг.

Страна	Питомники-ловушки (Кол-во испытательных участков / страна)			Питомники-ловушки (Кол-во испытательных участков / страна)			
	4-й ISRTN	2-й Ug99ISRTN	3-й IYRTN	Страна	4-й ISRTN	2-й Ug99ISRTN	3-й IYRTN9
Узбекистан	1	1	1	Тунис	2	2	2
Кыргызстан	-	1	1	Морокко	2	3	2
Азербайджан	1	2	4	Алжир	2	3	3
Таджикистан	1	1	1	Египет	3	4	3
Казахстан	-	2	1	Судан	2	1	2
Туркменистан	-	-	1	Йемен	3	5	3
Турция	3	4	4	Эритрея	2	-	2
Иран	3	4	4	Эфиопия	3	3	4
Грузия	1	1	2	Кения	2	1	1
Армения	1	1	2	ЮАР	3	5	1
Пакистан	3	3	4	Уругвай	1	-	1
Бангладеш	1	2	3	Оман*	-	2	-
Бутан	1	-	1	С. Аравия*	-	4	-
Непал	2	-	4	Сирия	5	1	7
Индия	4	4	8	Ливан	1	1	1
Всего	22	26	41	Всего	31	35	32

* Питомники, подлежащие испытаниям в 2009 г.

Устойчивость пшеницы к стеблевой ржавчине – австралийский опыт Х. С. Барьяна

Университет при Институте селекции растений, Сидней. Дер. Коббитти, РМВ11, Камден, NSW2570, Австралия. harbansb@camden.usyd.edu.au

История вопроса

Стеблевая ржавчина впервые была признана самым опустошительным заболеванием в Австралии учёным Вильямом Фаррером. Работы по селекции растений, устойчивых к ржавчине, начались ещё в начале 19-го века. Фарреру удалось вырастить скороспелую пшеницу, не обладавшую устойчивостью к стеблевой ржавчине, однако сумевшую благополучно избежать заражения благодаря раннему созреванию. Ранняя зрелость была заимствована от индийской пшеницы. Такие устойчивые к ржавчине сорта пшеницы, как «Федвеб», «Хофед» и «Эврика» были выведены В. Л. Уотерхаусом (Университет Сидней) и С. Л. Масиндо (Сельское хозяйство Нового Южного Уэльса). Устойчивость к стеблевой ржавчине сорта «Эврика» (*Sr6*) была признана неэффективной в 1942 г. после появления нового варианта патогена стеблевой ржавчины. Несмотря на поддержание устойчивости в сортах «Федвеб» и «Хофед», Уотерхаус осознавал весь потенциал развития патогена данного заболевания. В 1945 г. в Курлевисе, НЮЭ, на северо-западе Нового Южного Уэльса, подверженного стеблевой ржавчине, был основан полевой участок с целью выполнения там программы по селекции устойчивости. Комитет штата Новый Южный Уэльс по исследованию пшеницы способствовал основанию в 1961 г. Северо-западного исследовательского института по пшенице (известного в настоящее время как Научно-исследовательский институт Уотсона). Устойчивые к стеблевой ржавчине сорта «Федвеб», «Хофед», «Эврика» и «Габо» были выведены до 1950 г. Сорт «Хофед» имел устойчивый ген *Sr2* долговременного действия. Устойчивые сорта следующего поколения включали: «Игл» (*Sr9g*, *Sr26*), «Мендос» (*Sr7a*, *Sr11*, *Sr17* и *Sr36*), «Тимгален» (*Sr5*, *Sr6*, *Sr8a* и *Sr36*), «Гэтчер» (*Sr2*, *Sr5*, *Sr6*, *Sr8a*, *Sr9g*, *Sr12*) и «Гамут» (*Sr6*, *Sr9b*, *Sr11*, *SrGt*), за которыми последовали «Бэнкс» (*Sr8a*, *Sr9b*, *Sr12* и *Sr30*), «Кондор» (*Sr5*, *Sr8a* и *Sr12*), «Шортим» (*Sr5*, *Sr6*, *Sr8a* и *Sr36*) и «Фестигэй» (*Sr30*).

В результате эпидемии стеблевой ржавчины в 1973 г. в восточной Австралии, была предложена Национальная программа по контролю за пшеничной ржавчиной (NWRCP) (рис. 1), вступившая в действие в 1975 г. при поддержке Научного совета по пшенице. Особая задача программы состояла в оказании услуг по скринингу ржавчины всем австралийским программам по селекции пшеницы, введении новых генетических вариаций устойчивости к ржавчине в белосемянной австралийской пшенице и контроле за популяциями ржавчины на предмет патогенных изменений, влияющих как на использующиеся для посевов сорта, так и на работы по селекции устойчивости. Основное внимание программы было сосредоточено на опережении изменений патотипов посредством заблаговременной селекции. На основе зародышевой плазмы, полученной в ходе реализации программы NWRCP, были выведены следующие сорта: «Торрес» (белосемянной *Sr24*), «Васко» (белосемянной *Sr24*), «Диаз» (*Sr9e*, *Sr36*), «Грииб» (*Sr31*), «Шомбургк» (*Sr22*), «Пероуз» (белосемянной *Sr24*), «Санбри» (*Sr36*, *Sr38*), «Санвэйл» (*Sr36*, *Sr38*), «Санлин» (*Sr26+Sr38*), «Трайидент» (*Sr38*), «Дататин» (белосемянной *Sr24*), «Камм» (*Sr38*), «Торнбилл» (*Sr45*), QAL2000 (*Sr24*, *Sr38*), QALBis (*Sr24*, *Sr38*) и «Каслрок» (белосемянной *Sr24*).

Изменчивость для устойчивости Изменчивость для вирулентности

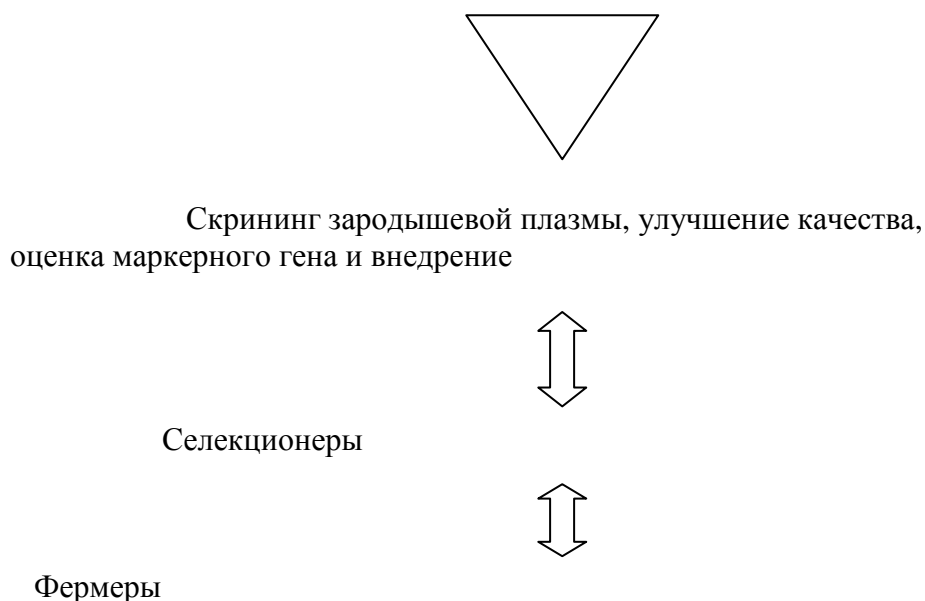


Рис. 1: Схема общегосударственной координации работ по селекции устойчивости к пшеничной ржавчине в Австралии на основе Австралийской программы по контролю за пшеничной ржавчиной

Текущее генетическое разнообразие генов, устойчивых к пшеничной ржавчине

Пшеница обыкновенная

Подавляющее большинство распространённых в мире сортов пшеницы несут устойчивые гены *Sr2*, *Sr24*, *Sr30*, *Sr31* и *Sr36*, которые до открытия Ug99 и его производных проявляли устойчивость как сами по себе, так и в комбинации. Сбор СИММИТ зародышевой плазмы со всего мира способствовал использованию зародышевой плазмы с устойчивыми к пшеничной ржавчине генами *Sr2*, *Sr8a*, *Sr9g*, *Sr17*, *Sr30* и *Sr31* в различных сочетаниях. Ген *Sr38*, устойчивый к пшеничной ржавчине, имел всемирное применение благодаря его связи с генами *Lr37*, *Yr17* и *Cre5*. Устойчивые гены нехарактерных всходов и взрослых растений, однако, были селекционированы случайно в коммерческих сортах пшеницы. Совсем недавно в пшенице шведского сорта «Арина» австралийскими учёными был выделен ген APR, находящийся в хромосоме 5B. Также были выделены и гены APR, устойчивые к стеблевой ржавчине, в индийских сортах HD2009 и WL711. Вполне вероятно, что ген APR появился в сорте WL711 благодаря северо-американскому сорту «Крис».

В сортах пшеницы, выращиваемой в австралийском штате Квинсленд и северной части Нового Южного Уэльса, имеются четыре главные комбинации генов, а именно: *Sr2+Sr36+Sr30*, *Sr24+Sr36*, *Sr38+Sr36* и *Sr2+Sr38+Sr30*. Сорт «Санлин» несёт сочетание генов *Sr38* и *Sr26*. В некоторых сортах, культивируемых в данных штатах, имеются устойчивые гены *Sr2*, *Sr24*, *Sr30*, *Sr31*, *Sr33* и отдельный ген *Sr45*. Пшеница, выращиваемая в штатах Виктория и Южная Австралия, несёт гены *Sr30*, *Sr24* и *Sr15*, а западно-австралийские сорта – гены *Sr2+Sr30*, *Sr8a +Sr15* и *Sr38*. Ген *Sr13* также способствует устойчивости в сортах Западной Австралии. В результате проведённых в Кении испытаний было предположено наличие гена APR в некоторых сортах пшеницы, выращиваемой в Австралии.

Пшеница дурум

В пшенице дурум содержится по крайней мере 2-3 устойчивых к ржавчине гена, из которых эффективным по отношению к Ug99 является только ген *Sr13*. В Австралии был выделен ген APR, являющийся производным от местных сортов пшеницы дурум, *Sr Gh*. В коммерческих сортах дурум содержатся гены *Sr8b*, *Sr9e* и *Sr13* в разных комбинациях.

Синтетический гексаплоид

Синтетический гексаплоид зародышевой плазмы, полученный СИММИТ и другими организациями, сочетает гены пшеницы дурум: преимущественно *Sr9e*, *Sr8b*, *Sr13* и гены *Sr33*, *Sr45* и *Sr46*, производные *Triticum tauschii*. Вполне вероятно, что при этом были перенесены нехарактерные устойчивые гены всходов и взрослых растений. На рис. 2 представлен перечень типов инфекций, наблюдавшихся среди наборов синтетических генов СИММИТ.

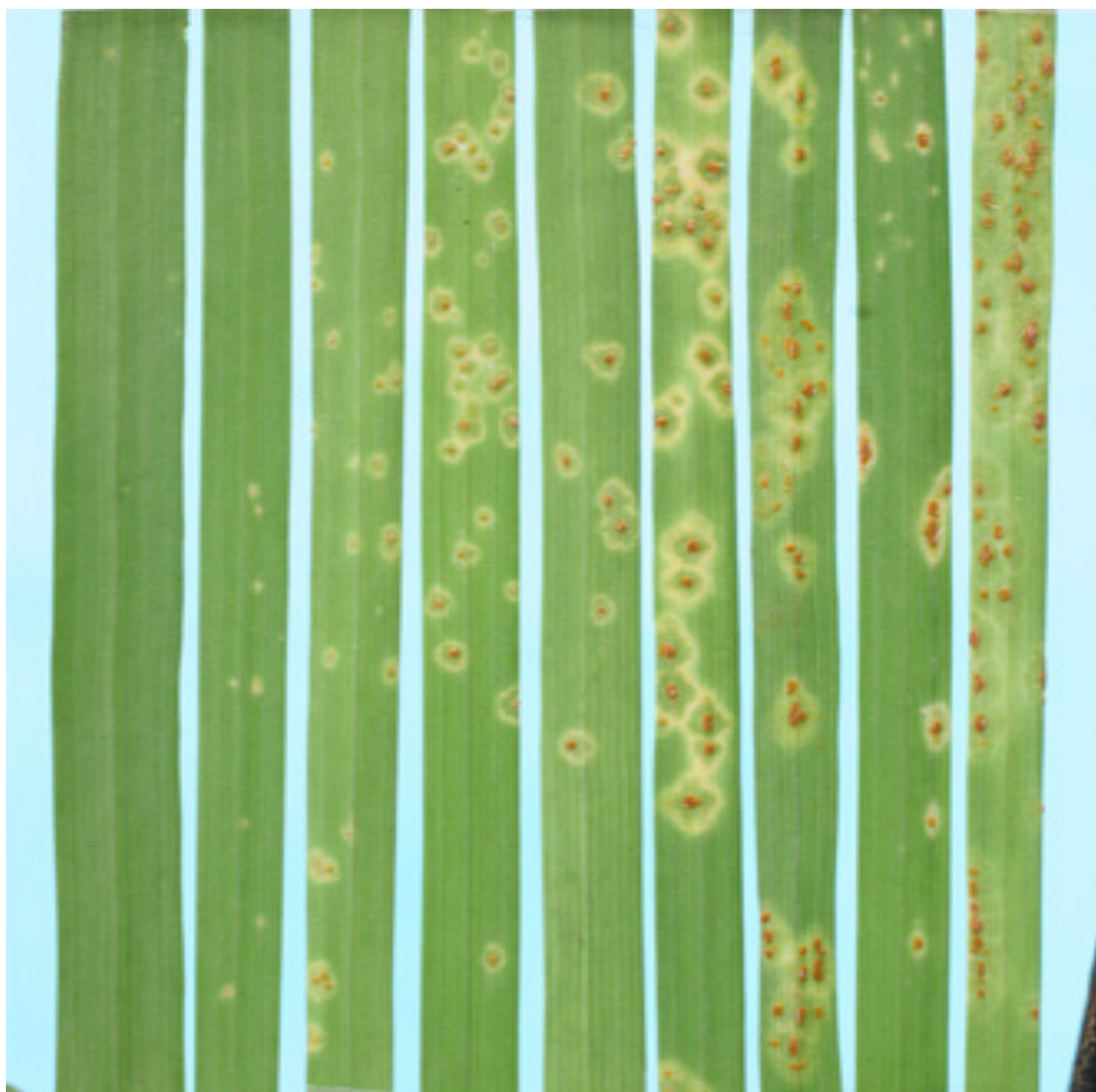


Рис. 2: изменчивость реакции синтетических гексаплоидов на стеблевую ржавчину

Технология ДНК-маркера

Имеются сведения о маркерах, связанных с несколькими устойчивыми к стеблевой ржавчине генами. Такими генами, устойчивыми к стеблевой ржавчине, являются *Sr2*, *Sr22*, *Sr32*, *Sr33*, *Sr36*, *Sr39* и *Sr45*, проявляющие эффективность против Ug99 и его производных либо в сочетании, либо по-одиночке. Данные маркеры могут использоваться при создании комбинаций генов будущих сортов пшеницы.

Перспективы развития

Старая коллекция тетраплоидов и гексаплоидов сортов пшеницы / местных сортов, собранная в 1920-х гг., подверглась скринингу, в результате чего в ней были обнаружены нехарактерные источники всходов и устойчивости взрослых растений (APR) к стеблевой ржавчине. Гены APR, обнаруженные в данной популяции австралийскими учёными, отличаются от гена *Sr2*. В настоящее время эти источники переносятся в коммерческие сорта пшеницы. Генетически разные источники устойчивости к пшеничной ржавчине, ранее не задействованные селекционными программами, сейчас переносятся в генетическое окружение коммерческих сортов. Для обеспечения достаточных объёмов пшеницы обещание, принятое странами мира, использовать сорта пшеницы с комбинациями устойчивых генов, представляется особенно важным. Сочетание генотипических (основанных на маркере) и фенотипических (основанных на тепличных и полевых условиях) технологий необходимо для производства сортов, содержащих комбинации генов высокой и низкой устойчивости.

Выражение признательности

Выражается глубокая признательность всем, предоставившим информацию для написания этой статьи.

Устойчивость взрослых растений пшеницы к грибку стеблевой ржавчины Ug99, и ее применение

Р.П.Сингх¹, Дж.Хуэрта-Эспино², Й.Джин³, П.Нджау⁴, Р.Ваниера⁴, С.А.Херрера-Фозсел¹, С.Бхавани¹, Д.Сингх⁵ и П.К.Сингх¹

¹CIMMYT, Apdo. Postal 6-641, 06600, Mexico, DF, Mexico; ²INIFAP-CEVAMEX, Apdo. Postal 10, 56230, Chapingo, Mexico; ³USDA-ARS, Cereal Disease Laboratory, St. Paul, Minnesota, USA; ⁴Kenya Agricultural Research Institute- Njoro Plant Breeding Research Center (KARI-NPBRC), P.O. Njoro, Kenya; and ⁵CIMMYT, Nairobi, Kenya.

Аннотация

Возбудитель Ug99 стеблевой пшеничной ржавчины *Puccinia graminis* не только распространяется за пределы Восточной Африки, но также эволюционирует в плане преодоления дополнительных резистентных генов, характерных для этой биологической формы. Таким образом, использование нехарактерной устойчивости взрослых растений, придаваемой несколькими малыми генами, считается наилучшей стратегией сдерживания этой эволюции. Проведенный в Кении и Эфиопии отбор пшеничных материалов из 22 стран и международных центров, показал низкую повторяемость линий, которые имеют высокий или достаточный уровень устойчивости взрослых растений, и могут быть развиты в новые сорта. Программы обмена селекционными материалами в Кении и Эфиопии исполняются в настоящее время "Международным центром улучшения кукурузы и пшеницы" ("CIMMYT") и "Международным центром сельскохозяйственных исследований в засушливых регионах" ("ICARDA") для усовершенствованной селекции новых высокоурожайных сортов пшеницы с высоким уровнем устойчивости.

Историческое описание применения устойчивости взрослых растений

Определению устойчивости к стеблевой ржавчине первоначально было придано особое значение в США, Канаде, Австралии и Европе. Наиболее успешный контроль стеблевой ржавчины появился, когда Х.К. Хайес в Университете Миннесоты и Е.С. Макфадден в Государственном университете Южной Дакоты, перенесли устойчивость к стеблевой ржавчине из таких тетраплоидных источников, как дурум "Iumillo" и двузернянка "Yaroslav", соответственно в зерно, давшее начало гексаплоидным сортам пшеницы "Thatcher" и "Hope" (Колмер, 2001 год). Несмотря на то, что несколько характерных генов устойчивости присутствует в сортах "Hope" и "Thatcher", наиболее эффективный компонент устойчивости содержится в них, благодаря устойчивости взрослых растений. "Thatcher", "Hope", "Hope sib H44-24a", и другие выведенные из этих источников сорта, такие как "Selkirk" и "Chris", также сочетают в себе устойчивость к стеблевой ржавчине из других источников. Попытки поиска методов разрешения проблем стеблевой ржавчины оказали содействие глобальному сотрудничеству среди ученых, изучающих пшеницу, которые обменивались материалами, выращивали и оценивали зародышевую плазму пшеницы, с целью нахождения различных источников устойчивости к стеблевой ржавчине. Материалы устойчивости пшеницы, разработанные в г.Нджоро в Кении, при поддержке канадских ученых в 1960-х и 1970-х годах, внесли существенный вклад в международную селекционную деятельность. Устойчивость сортов "Hope" и "Chris" дала основу высокоурожайным полукарликовым сортам пшеницы, которые способствовали проведению "Зеленой революции" 1970-х годов.

Ген устойчивости взрослых растений *Sr2* способствует замедлению поражения ржавчиной. Комбинация *Sr2* с другими неизвестными генами сопротивления ржавчине, возможно, происходящими из сортов "Thatcher" и "Chris", широко известная как

"Комплекс-*Sr2*", предоставила основу длительной устойчивости к стеблевой ржавчине в зародышевой плазме, разработанной в Университете Миннесоты в Соединенных Штатах, Университете Сиднея в Австралии, а также в зародышевой плазме весенней пшеницы, которую разработал Н.Е.Борлауг (Макинтош в 1988 году, Раджарам и другие в 1988 году). К сожалению, немного известно об остальных генах "Комплекса- *Sr2*" и их взаимодействии. В 1988 году Кнотт показал, что достаточный уровень мульти-генной устойчивости к стеблевой ржавчине может быть достигнут путем накопления около пяти малых генов.

Устойчивость взрослых растений к возбудителю Ug99 в старой и новой пшенице

Считается, что длительная устойчивость к стеблевой ржавчине, присущая некоторым сортам, ранее выведенным в США, Австралии и "CIMMYT", исходит из использования *Sr2* в соединении с другими неизвестными дополнительными малыми генами, возможно, происходящими от сорта "Thatcher" и выведенной из него линии "Chris". Ген *Sr2* можно найти в его полном соединении с фенотипом черного бактериоза, заметно выраженном в определенных условиях окружающей среды, что ведет к его отсеvu в некоторых селекционных программах. Тем не менее, в тех же условиях окружающей среды, в усовершенствованных селекционных материалах наблюдается незначительно выраженный черный бактериоз, что указывает на возможность выведения линий с содержанием *Sr2* и с незначительным содержанием черного бактериоза. В линиях сортов пшеницы, показывающих черный бактериоз, в Кении мы наблюдаем различные степени болезни, колеблющиеся от незначительных признаков до примерно 60-70%-ной степени, низкой по сравнению с 100%-ной степенью материалов с высокой подверженностью. Тип реакции варьируется от средней устойчивости до подверженности, на одних и тех же междоузлиях растений, содержащих *Sr2*, ясно указывая на то, что *Sr2* действительно придал по меньшей мере небольшую степень устойчивости.

Ген *Sr2* был обнаружен в некоторых старых, высоких кенийских сортах с высокой сопротивляемостью и в полученных в "CIMMYT" полукарликовых сортах пшеницы "Pavon 76", "Parula", "Kritati" и "Kingbird". Сорта "Pavon 76" и "Kritati" содержат устойчивость еще со времени начала строгого отбора в 2005 году в Нджоро, в Кении, с максимальной оценкой болезни 20MR-MS (20%-ая серьезность при реакции несовместимости "средняя устойчивость – средняя подверженность"). Сорт "Kingbird", новая усовершенствованная линия, в настоящее время является самым известным источником устойчивости взрослых растений среди полукарликовых сортов пшеницы, с максимальной зарегистрированной оценкой 5MR-MS в течение того же периода. Поскольку эти сорта пшеницы на ранних стадиях роста подвержены заболеванию Ug99, считается, что их устойчивость основана на нескольких добавочных генах, среди которых *Sr2* является важным компонентом.

За исключением *Sr2*, мало известно о генах, задействованных в длительной устойчивости взрослых растений, тем не менее, ранние исследования Кнотта (1982 год), знания о длительной устойчивости к листовой и желтой ржавчине (Сингх и др., 2004 год), и наблюдения, проведенные над селекционными материалами и проецирование популяции F₆, включающей "Pavon 76", все указывают на то, что степень прогресса ржавчины является функцией кумулятивного действия ряда малых генов, присутствующих в генотипе, и индивидуального действия каждого из них (рисунок 1). Таким образом, считается, что накопление 4-5 генов замедляет прогресс болезни до уровня, приводящего к незначительным степеням болезни в зрелости при высоком воздействии, что было описано Сингхом и др. (2000 год), как "почти иммунитет".

Накопление такой комплексной устойчивости будет затруднительным, но не невозможным, в отсутствии воздействия болезни, вызываемой грибом Ug99, в

большинстве селекционных центров, и при недостатке молекулярных маркеров, взаимосвязанных с генами, способствующими устойчивости. Молекулярные маркеры, связанные с геном сопротивляемости *Sr2*, замедляющим ржавчину, хорошо известны и могут быть использованы при селекции; тем не менее, этот ген также может быть идентифицирован в большинстве условий, по его связи с фенотипом черного бактериоза. Ген *Sr2* находится примерно в 60% разработанной в настоящее время в "CIMMYT" зародышевой плазмы весенней пшеницы, включая самые новые сорта пшеницы, содержащие высокий уровень устойчивости к листовому и полосатому бактериозу и желательные характеристики качеств конечного назначения.

Высокоурожайные линии пшеницы с Ug99-устойчивостью взрослых растений

Информация об устойчивости к стеблевой ржавчине в зародышевой плазме резистентных весенних сортов пшеницы, распространенная "CIMMYT" в 2006, 2007 и 2008 годах, через недавно открытые 1-й, 2-й и 3-й рассадники селекции устойчивости к стеблевой ржавчине (SRRSN), просуммирована в Таблице 1. Всего 29 (28%), 48 (37%) и 67 (65%) линий в этих трех рассадниках, соответственно показали высокий и средний уровень устойчивости, как минимум в течение двух оценочных сезонов в Кении, под высоким воздействием болезни (до 30% степени стеблевой ржавчины, в то время, как восприимчивые материалы показывают полное уничтожение при 100% степени). Приводимые данные по 2-му и 3-му рассаднику "SRRSN" показывают высокую урожайность, в комбинации с другими желаемыми характеристиками. Эти усовершенствованные пшеничные материалы потенциально будут введены в использование селекционными проектами всего мира.

Обмен селекционными материалами с целью развития высокоурожайной пшеницы с почти-иммунным уровнем устойчивости взрослых растений

Поскольку, большая часть зародышевой плазмы высокоурожайной весенней пшеницы не содержит характерного эффективного уровня генов устойчивости к грибку Ug99, и по определению, линии должны содержать, как минимум, средний уровень устойчивости, данная ситуация была воспринята, как идеальная перспектива для работы над воспроизведением высоких уровней устойчивости взрослых растений в новейших пшеничных материалах. При отсутствии молекулярных маркеров устойчивости взрослых растений, и отсутствии Ug99 в Мексике, в 2006 году было положено начало проекта по селекционному обмену между мексиканскими исследовательскими центрами (Сиудад-Обрегон в северо-западной Мексике в зимний период, и Толука или Эль-Батан на плоскогорьях рядом с Мехико в летний период) и центрами в г.Нджоро, в Кении, с целью перенесения устойчивости взрослых растений, опознанной в полукарликовых сортах пшеницы, разработанных центром "CIMMYT", в зародышевую плазму ряда важных сортов пшеницы. Ускорению процесса селекции будет способствовать наличие двух урожайных сезонов в году в Мексике и Кении. Селекционный метод "single-backcross, selected-bulk" применяется для перенесения множества малых генов в адаптированные основы. Одно- и трехлинейное скрещивание, в которых один или более исходных материалов содержат устойчивость взрослых растений, используются для выведения новых высокоурожайных, почти-иммунных пшеничных материалов.

Методом однолинейного обратного скрещивания, мы сначала скрестили источники резистентности с адаптированными высокоурожайными сортами пшеницы, и затем, однолинейное обратное скрещивание было проведено с повторным источником для получения около 400 семян BC₁. Растения BC₁ в дальнейшем были отобраны с учетом желаемых агрономических характеристик и сопротивляемости листовому и полосатому бактериозу, и выращены, как урожай. Растения F₂, полученные из материалов BC₁, гибриды однолинейного и трехлинейного

скрещивания, с желаемыми агрономическими характеристиками и устойчивостью к стеблевой и полосатой ржавчине, были отобраны в Сиудад Обергоне, с учетом агрономических характеристик и сопротивляемости другим болезням, и выращены, как урожай. В то время, как популяции F_2 были выращены в Сиудад Обергоне, где известны случаи возникновения карантинной болезни "Karnal bunt", популяции F_3 были выращены в Толуке для дальнейшего цикла селекции. Около 1000 семян популяций F_3 и F_4 , полученных из урожайных материалов в Толуке, были густо выращены в Нджоро, Кении, для селекции в условиях сильного воздействия стеблевой ржавчины в несезонный период. После удаления высоких растений, оставшиеся популяции были выращены в большом количестве и около 400 сильных семян, собранных с избранных растений, были выращены в Сиудад Обергоне, в Мексике, где была проведена окончательная селекция индивидуальных растений поколений F_5 и F_6 . Небольшие участки этих усовершенствованных линий были выращены в испытательных центрах в Эль-Батане и Толуке, для отбора согласно агрономическим характеристикам и сопротивляемости листовой и желтой ржавчине. Около 700 усовершенствованных линий будет протестировано на зерновую урожайность в Сиудад Обергоне, и на сопротивляемость стеблевой ржавчине в Нджоро, в течение предстоящего урожайного периода 2008-2009 годов. Вторая группа обменных селекционных материалов популяций F_5 и F_6 также будет засеяна в Сиудад Обергоне, а третья группа популяций F_3 и F_4 – в Кении.

Мы рассчитываем, что повторяемость усовершенствованных линий, содержащих потенциал высокой урожайности, пройдет широкую адаптацию, и характеристики качеств ее конечного назначения будут улучшаться со временем, посредством селекционного обмена Мексика-Кения. Более того, предлагаемый подход предположительно реконструирует длительную устойчивость в современной зародышевой плазме пшеницы. Генетические анализы также находятся на пути к пониманию числа и типа резистентных генов, содержащихся в источниках, которые вносят свой вклад в замедление ржавения и устойчивость взрослых растений. Геномное размещение добавочных малых генов устойчивости, определяемое путем составления молекулярных схем, предположительно не только создаст молекулярные маркеры для некоторых генов замедления ржавения, но также будет полезно для основания и улучшения генетического разнообразия таких генов в зародышевой плазме весенних сортов во всем мире, и позволит их внедрение в факультативные и зимние пшеничные материалы.

Справочная литература

Д.Р.Кнотт, 1982. "Полифакториальное наследование устойчивости к стеблевой ржавчине в пшенице". ("Multigenic inheritance of stem rust resistance in wheat"). Crop Sci. 22:393-99.

Д.Р.Кнотт, 1988. "Использование полигенной устойчивости для выведения устойчивости к стеблевой ржавчине в пшенице" ("Using polygenic resistance to breed for stem rust resistance in wheat"): Н.В.Симмондс и С.Раджарам, "Стратегии селекции устойчивости к ржавчине в пшенице" ("Breeding Strategies for Resistance to the Rusts of Wheat"), стр. 39-47. "CIMMYT", Мексика, D.F.

Дж.А.Колмер, 2001. "Ранние исследования генетики устойчивости к стеблевой ржавчине *Puccinia graminis* пшеницы, в Канаде и Соединенных Штатах". ("Early research on the genetics of *Puccinia graminis* stem rust resistance in wheat in Canada and the United States"): П.Д.Петерсон, "Стеблевая ржавчина пшеницы: от древнего врага до современного недруга" ("Stem rust of wheat: From Ancient Enemy to Modern Foe"), стр. 51-82. Издательство "APS Press, St. Paul, MN".

Р.А.Макинтош, 1988. "Роль специфических генов в селекции длительной устойчивости к стеблевой ржавчине в пшенице и тритикале" ("The role of specific genes

in breeding for durable stem rust resistance in wheat and triticale"): Н.В.Симмондс и С.Раджарам, "Селекционные стратегии для устойчивости к ржавчине пшеницы" ("Breeding Strategies for Resistance to the Rust of Wheat"), стр. 1-9. " CIMMYT", Мексика, D.F.

Раджарам С., Сингх Р.П. и Торрес Е. 1988. "Существующие подходы CIMMYT к выведению сортов пшеницы, устойчивых к ржавчине. Стратегии выведения устойчивости пшеницы к ржавчине" ("Current CIMMYT approaches in breeding wheat for rust resistance. Breeding Strategies for resistance to the Rust of Wheat") (Симмондс НВ и Раджарам С. Эдс), стр. 101-118. CIMMYT, Мексика, D.F.

Р.П.Сингх, Дж.Хуэрта-Эспино и С.Раджарам, 2000. "Достижение почти-иммуности к листовой и полосатой ржавчине в пшенице, путем комбинации резистентных генов замедления ржавения" ("Achieving near-immunity to leaf and stripe rusts in wheat by combining slow rusting resistance genes"): "*Acta Phytopathologica Hungarica*", **35**, 133-139.

Р.П.Сингх, Х.М.Виллиам, Дж.Хуэрта-Эспино и Г.Роузуарне, 2004. "Пшеничная ржавчина в Азии: принятие вызова со старыми и новыми технологиями" ("Wheat rust in Asia: meeting the challenges with old and new technologies"): "Новые указания для новой планеты: записки Четвертого международного конгресса сельскохозяйственных наук" ("New Directions for a Diverse Planet: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress").

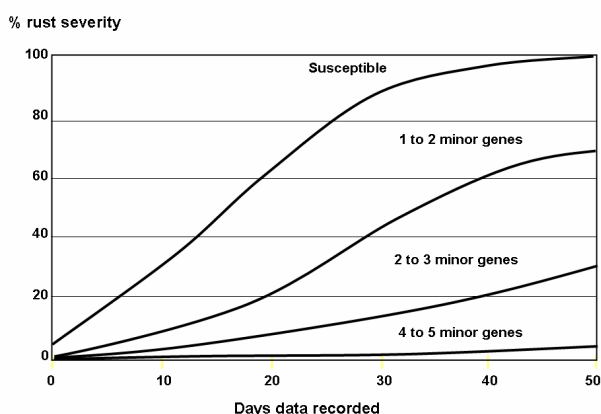
http://www.cropscience.org.au/icsc2004/symposia/3/7/141_singhrp.htm (страница подключена 29 ноября 2007 года). 26 сентября – 1 октября 2004 года, г.Брисбен, Австралия.

Таблица 1. Данные об устойчивости к стеблевой ржавчине, введенные 1-м, 2-м и 3-м центром SRRSN (рассаdники селекции устойчивости к стеблевой ржавчине).

Устойчивость Категория	1-й центр SRRSN		2-й центр SRRSN		3-й центр SRRSN	
	Количество	%	Количество	%	Количество	%
Взрослое растение¹:						
R (5-10% степень)	4	4	0	0	3	3
R-MR (15-20% степень)	19	18	26	20	33	32
MR (30% степень)	6	6	22	17	21	20
MR-MS (40% степень)	2	2	15	12	0	0
MS (50-60% степень)	0	0	17	13	0	0
S (70-100% степень)	0	0	4	3	0	0
Тип гена:						
<i>Sr24</i>	39	38	0	0	0	0
<i>Sr25</i>	17	17	0	0	11	11
<i>Sr36 (+Sr24)</i>	0	0	0	0	4	4
<i>Sr1A.1R (+Sr24)</i>	2	2				
<i>SrTmp</i>	0	0	25	20	6	6
<i>SrSynt</i>	4	4	8	6	5	5
<i>SrSha7</i>	9	9	8	6	4	5
<i>SrND643</i>	0	0	0	0	12	12
<i>SrНеизвестный</i>	1	1	3	2	5	5
Итого	103		128		104	

¹ Категории устойчивости взрослых растений включают линии, подверженные болезни в тестах, проведенных в рассадочных теплицах, и с наивысшей степенью болезни, зарегистрированной в течение нескольких лет/сезонов (2005-2007 год), когда легко поддающиеся виды были уничтожены 100%-ой степенью стеблевой ржавчины по модифицированной шкале Кобба.

Рисунок 1. Графическое изображение дополнительных эффектов предположительного количества малых генов в задержании прогрессирования ржавчины на полях.



Работа объектов по отбору и браковке сортов, подверженных заражению ржавчиной, в Восточной Африке

Давиндер Сингх, Бедада Гирма, Рут Ваниера, Питер Нджау

Введение

Сохранение мировой пшеницы, разрабатывая устойчивые к стеблевой ржавчине сорта с длительной устойчивостью к Ug99 требует аккуратного полевого отбора, который, в свою очередь, требует наличие надлежащего количества объектов, оборудованных для этой цели. Эти объекты помогают управлять и манипулировать приемом зародышевой плазмы и штаммов патогенных микроорганизмов. Восточная Африка всегда играла важную роль в отношении эпидемиологии стеблевой ржавчины, возможно, из-за географического расположения и климатических условий региона, и непрерывной культивации пшеницы на протяжении всего года, создавая эффект «грин бридж» («зеленый мост») для выживания инокулята. Экология возвышенностей Восточной Африки позволяет сохранить большую популяцию стеблевой ржавчины на протяжении всего года и эта ситуация вносит свой вклад в проблему эволюции новых физиологических штаммов. Более того, Восточная Африка известна как "горячая точка" по происхождению новых вирулентных штаммов возбудителя ржавчины (Сингх и др., 2006г.) В 2006 году разновидность штамма Ug99 с повышенной вирулентностью гена стеблевой ржавчины *Sr24* еще больше увеличил уязвимость пшеницы перед вирусом стеблевой ржавчины во всем мире (Джин и др., 2008г.).

Недавно программа Восточной Африки в рамках Инициативы Борлоуга по всемирной борьбе со ржавчиной (BGRI) была начата программа по уменьшению масштабов и серьезности эпидемий стеблевой ржавчины в Кении и Эфиопии, и для гарантии, что новые вирулентные и опасные формы, происходящие из данного региона, не покидали Восточной Африки. Принимая это во внимание, программа Восточной Африки была разработана для контроля последующей миграции Ug99 и его разновидностей, облегчения полевого отбора зародышевой плазмы пшеницы по всему миру, чтобы понять генетическую основу устойчивости, в частности, длительного типа, осуществить целевую программу селекции по внедрению устойчивых генов в интересующую зародышевую плазму, и укрепить потенциал национальных программ селекции по устойчивости к ржавчине.

Этот отчет рассказывает о существующих объектах по отбору и браковке сортов семян в Кении и Эфиопии, а так же о мероприятиях, возможностях и трудностях управления этими программами.

Работа по отбору в Кенийском Институте Сельскохозяйственных Исследований (KARI)

В 1960-70гг. правительство Канады вкладывало значительные средства в KARI Нджоро для контроля за возникновением разновидностей возбудителей ржавчины зерновых культур, а до 1990-х гг. финансирование было продолжено CIMMYT, после чего исследования замедлились и состояние объектов и оборудования ухудшилось, что произошло после окончания работы международных представителей в результате сокращения финансирования. Несмотря на это, обнаружение Ug99 и его разновидностей и их вирулентности на самых последних выведенных сортах по всему миру и запуск BGRI, вернуло Кению в центр внимания международных исследований ржавчины для отбора и селекции устойчивой к Ug99 зародышевой плазмы пшеницы.

Работа KARI по отбору координируется на базе двух сезонов (Главный = с июня по октябрь и Внесезонье = с ноября по апрель). Двенадцать гектаров орошаемых земель были отданы под полевые отборы (4 гектара на сезон для использования 3-летней смены), обеспечивающих сбор более чем 20 000 образцов в главный сезон. Оценка

зародышевой плазмы включает яровую пшеницу (в основном, хлебную пшеницу и ограниченные твердые сорта пшеницы) и озимую пшеницу, включает в себя дополнительный сортовой материал, местные сорта, составление карт популяций и историческую справку о зародышевой плазме.

Для составления фенотипа, посадки планируются как двойные 1-м ленты. Для обеспечения наращивания и равномерного распространения инокулята в пределах рассадника, пучки лент (смесь восприимчивых сортов) высаживаются близко к посадкам. Ряды лент прививаются либо опылением смесью талька и уренодиоспор или введением прививки при помощи шприца как описано МакИнтошем и др. (1995г.)

Работа по отбору в Эфиопском Институте Сельскохозяйственных Исследований (EIAR)

Участие Эфиопии в BGRI началось в январе 2005г., когда Эфиопии достиг меморандум "Звук тревоги" д-р Норманна Борлоуга. В EIAR поняли серьезность "Тревоги" и быстро основали "Целевую рабочую группу по изучению заболевания стеблевой ржавчины", которой доверили отслеживание и оценку ситуации с заболеванием по стране. С этого момента Эфиопия начала агрессивный отбор международных и национальных пшеничных материалов. Хотя основной целью была стеблевая ржавчина, EIAR следует целостному подходу к отслеживанию и отбору всех трех ржавчин.

Действия EIAR по отбору координируются на базе двух сезонов (Главный = с июня по октябрь и Внесезонье = с ноября по апрель) в трех исследовательских центрах – Амбо, Дебре-Зейт и Кулумса. Исследовательский центр защиты растений Амбо отвечает за координацию годового опроса по ржавчине и анализу штаммов возбудителей ржавчины. Дебре-Зейт управляет обменом селекционными материалами и анализом на микроуровне твердых сортов пшеницы, отбором материалов международных сортов пшеницы и отбором и тестированием диких тетраплоидов на предмет устойчивости взрослых растений (APR).

Достижения и возможности

Основа отбора в Восточной Африке создало возможности, связанные со средствами обслуживания в Кении и Эфиопии. Восточная Африка остается единственным регионом, где в настоящее время могут проводиться полевые отборы с целью изучения реакции на воздействие линии Ug99. Производители пшеницы по всему миру приняли участие в тестировании реакции пшеницы (более 70 000 исследовательских участков) в главном сезоне и внесезонье в Кении и Эфиопии с 2005г. И статус устойчивости этих линий с тех пор хорошо документирован. Эта деятельность определяет глобальную уязвимость пшеницы перед возбудителями линии Ug99, а также эффективность известных устойчивых к ржавчине генов против Ug99. Был достигнут заметный прогресс в идентификации различных источников устойчивости к Ug99 и его разновидностей в международной зародышевой плазме, включая незначительные гены, APR которых имеет репутацию устойчивых. Использование высокоурожайных сортов пшеницы с длительной устойчивостью в различных странах по миграционному пути Ug99 должно снизить риски эпидемий и его дальнейшей эволюции. Было распространено или находится в процессе распространения более 300 наборов в форме устойчивых к трем стеблевым ржавчинам отборочных рассадников (1 SRRSN, 2 SRRSN и 3 SRRSN). Было идентифицировано несколько перспективных линий с очень хорошими агрономическими качествами и устойчивостью к Ug99 и его вариантам, а также проводятся дальнейшие оценки и тесты для распространения и регистрации.

Задачи и потребности

Полностью функционирующие критические объекты в Восточной Африке нуждаются в инвестициях в поля, теплицы, лабораторные здания и оборудование, а так же

операционную поддержку команд национальных и международных ученых, посвящающих свою работу миссии борьбы со ржавчиной пшеницы. В настоящее время эти объекты поддерживаются BGRI, но необходимы долгосрочные инвестиции для непрерывного развития и содействия мировым усилиям стабилизации потерь урожая при помощи селекции устойчивой к Ug99 пшеницы.

Цели BGRI и сотрудничество с элементами государственного сектора NARS, в принципе, не являются облагаемыми отборочной оплатой. Тем не менее, необходимо развить модель платного сервиса для частных компаний и промышленно развитых стран на отбор зародышевой плазмы в ответ на поддержку действий объектов и обеспечит проверку качества собранных данных.

Протоколы яровизации озимых сортов пшеницы улучшены, но нуждаются в дальнейшей доработке для точных результатов. Еще есть куда развивать протоколы и руководства по импорту семян, орошению и использованию земель, эффективного отбора и распространению и доставки данных.

Концепция

Защита мировой пшеницы при помощи разработки различных длительно устойчивых к Ug99 сортов не может быть достигнута без продолжения и расширения недавно инициированных совместных исследований, проводимых в Восточной Африке. Ни традиционное разведение, ни молекулярное разведение, ни какие-либо другие действия, зависящие от аккуратного полевого отбора, не могут привести к успеху без этого сотрудничества и необходимых и жизненно важных объектов и оборудования.

Тем не менее, если эти усилия будут продолжены, в течение одного следующего года критические объекты в Кении и Эфиопии будут высоко значимыми компонентами интегрированных мировых усилий в минимизации дестабилизирующего воздействия заболевания ржавчиной в мировом производстве пшеницы и продовольственной безопасности. В следующие пять лет сорта, несущие длительную устойчивость к ржавчине на этих важных объектах будут защищать мир пшеничной продукции. К 2020 году сорта с новыми источниками длительной устойчивости будут идентифицированы, выведены и будут культивироваться по всему миру.

Web-сайт о мировом состоянии заболевания ржавчиной

Для получения дополнительной информации о работе объектов по отбору пораженных ржавчиной сортов в Восточной Африке посетите сайт: www.globalrust.org

Справочная литература

Джин и др., 2008г. "Болезни растений" 92:923-926.

Макинтош и др. 1995г. "Ржавчина пшеницы: Атлас устойчивых генов". CSIRO, Австралия. 200 стр.

Сингх и др. 2006г. Обзоры CAB 1 (№. 054), 13 стр.

Gene discovery, diversity and molecular markers for stem rust resistance in wheat Открытие гена, разнообразие и молекулярные маркёры для резистентности пшеницы против стеблевой ржавчины

Еванс Лагудак
CSIRO Растениеводство, GPO Бокс 1600 Канберра, АСТ, Австралия

Резистентные ржавчине гены

Генетическая резистентность стеблевой ржавчины пшеницы (*Puccinia graminis* f.sp. *tritici*,) основывается на двух типах устойчивости; сеянцев и резистентности взрослых растений. Гены резистентных сеянцев (которые срабатывают и во взрослых растениях), которых тоже называют важными генами, обычно вызывают сильную реакцию резистентности, но не на все расы ржавчины. Хорошим примером является *Sr31*. Резистентность взрослого растения (PBR) или пост сеянцевая резистентность часто даёт частичную резистентность и имеет тенденцию не различать расу. Некоторые гены PBR часто определяются как медленно ржавеющие из-за долгого латентного периода от инфекции до полного развития эпидемии ржавчины или споруляции. Из 46 каталогизированных генов резистентных ржавчине в пшенице только один *Sr2*, входит в категорию PBR. Ещё несколько генов PBR резистентны листовой и желтой ржавчине причиняемой *Puccinia striiformis* и *Puccinia triticina*.

До сего времени был клонирован только один ген резистентности стеблевой ржавчины, это протеинкиназа закодированный ген ячменя *Rpg1*. Так же клонированы несколько генов сеянцев пшеницы и других зерновых, резистентных листовой ржавчине в основном из нуклеотидного лейцина (NB-LRR) класса генов главной резистентности, тщательно расследованных в системе ржавчины льна. [1,2]. Исследования проведенные в CSIRO Эллисом, Доддсом, Ellis, Лауренсом и коллегами на модели системы ржавчины льна показали, что во время инфекции ржавчины, ржавчина выделяет множество различных протеинов (эффекторов) в клетки растения. Многие из этих протеинов вовлечены в потупление естественного иммунитета хозяина - растения. Типы генов резистентных сеянцев NB-LRR, код для рецепторов протеина называемых резистентными протеинами находятся внутри, клетка растения определяет и замыкается с выделенным протеином ржавчины, который вызывает иммунную реакцию ассоциирующуюся со смертью клетки в входном месте патогена.

Ничего не было известно о молекулярных базах медленно ржавеющих генов PBR до недавнего клонирования генов листовой и желтой ржавчины PBR *Lr34/Yr18* и *Yr36*. Характер этих генов PBR очень отличается от протеинов резистентных сеянцев и поэтому очень подходит для использования различных механизмов в системе врожденного иммунитета пшеницы в усилиях развития более сильной резистентности ржавчине. Замечательный прогресс был достигнут В. Спилемейром, Р. Маго и коллегами в клонировании в институте CSIRO.

Хотя был опознан ряд генов резистентных сеянцев эффективных против стеблянной ржавчины *Ug99*, поиски дополнительных генов PBR чтобы комплементировать *Sr2*, будут ключевыми в стратегии обеспечения прочной резистентности ржавчине стебля [3]. Успешным примером этого является подход принятый для резистентности пшеницы к листовой и желтой ржавчине. К примеру, кумулятивные/ аддитивные эффекты *Lr34* и 3-4 дополнительные медленно ржавеющие гены, результируют в высоком уровне резистентности по сравнению с иммунитетом и формирует базы прочной резистентности к листовой и желтой ржавчины у весенней пшеничной гермарлазы, разработанной CIMMYT [3].

Генетическое разнообразие резистентных ржавчине генов из генофонда пшеницы
Многоцелевой подход в исследованиях дополнительных генов сеянцев и PBR, эффективных против стеблевой ржавчины *Ug99* и их дериватов применяется в австралийской программе контроля ржавчины зерновых и в проекте им. Корнелл по

достижению прочной резистентности пшеницы. Все первичный, вторичный и третичный генофонды пшеницы были применены для обогащения генетической разнообразности резистентности стеблевой ржавчине. Из нынешнего списка каталогизированных генов резистентных против Ug99, большинство из них найдено во вторичном и третичном генофонде (рис. 1). Ланрасы хлебной пшеницы содержат много обещаний в нахождении дополнительных генов резистентных стеблевой ржавчины в рамках первичного генофонда [4] и также являются вероятным источником нехарактеризованных генов RPB.

Нынешнее распространение расы стеблевой ржавчины Ug99 на Иран предлагает возможность получить доступ и использовать неразработанные гены стеблевой ржавчины RPB, которые вероятно присутствуют в источнике вторичного генофонда *Aegilops tauschii*, D геном прогенитор пшеницы. Из исследований свыше 200 образцов *Aegilops tauschii* для резистенции сеянцев стеблевой ржавчине, большинство резистентности сеянцев было ограничено в регионе Каспийского моря (Лагудах ЕС и Макинтош РА). Подобные данные наблюдений были найдены БС Гиллом и коллегами в гос. университете Кансаса о резистентных сеянцах листовой ржавчине. Но более важным исследованием, чем исследование резистенции листовой ржавчине было то что большая пропорция восприимчивых генотипов сеянцев были заражены листовой ржавчиной RPB. Если такие данные наблюдений о RPB можно демонстрировать для стеблевой ржавчины Ug99 в Иране, где находятся некоторые разнообразности форм *Aegilops tauschii* то это послужит резервуаром потенциально новых и различных источников стеблевой ржавчины RPB с целью улучшения пшеницы. Более того, генетические анализы стеблевой ржавчины RPB в *Aegilops tauschii* не будут ограничены гомологичными геномами и гены могут быть перемещены простой гомологичной рекомбинацией в хлебную пшеницу.

Рисунок1: Весь генофонд (первичный-1⁰, вторичный-2⁰ и третичный-3⁰) охватывающий Triticeae genera (Triticum виды, Aegilops, Agropyron senso lato, Avena, Secale и Hordeum) применимые для хлебной пшеницы, из которой можно извлечь эффективные гены для резистентности стеблевой ржавчине Ug99. Не резистантный хозяин (NHR) из риса является потенциальным источником перемещения пшенице иммунитета ржавчине, за пределами родственных пшенице из третичного генофонда.

Стогование генов с помощью маркёров селекции.

Сейчас имеется разнообразие систем молекулярных маркёров, чтобы анализировать регионы пшеничной геномики, содержащие намеченные резистентные стеблевой ржавчине гены. В дополнение к произвольно выбранным маркёрам ДНК вдоль и поперёк генома, маркёры намеченные на аналоги резистентных болезням генов (АРБГ) основанные на генах NB-LRR предоставляют пункты доступа для генов изолирующих кандидатов, ко-сегрегирующих с резистентными стеблевой ржавчине фенотипами. Основанные на (АРБГ) маркёры можно так же использовать, как инструмент в нахождении аллель для простых и сложных R локусов гена и сравнить с спецификациями резистентности в более широком генофонде пшеницы. Растущие ресурсы физических карт созданных специфическими библиотеками пшеничного хромозома ВАС, сопоставительные ресурсы геномики из образцов трав таких как рис и *Brachypodium* ускоряют процесс картирования целей резистентных генов. Однако ключевой задачей всё ещё является идентификация маркёров тесно связанных с эффективной резистентность стеблевой ржавчине, которые можно будет использовать в различных культиварах пшеницы; мы называем этот класс маркёров «селекционистскими маркёрами». В краткосрочном порядке, чтобы получить эффективную и прочную резистентность против стеблевой ржавчины Ug99 нужно комплектовать вместе в одном сорте кратное количество генов. Этот процесс не всегда является лёгким, но считая различные резистентные стеблевой ржавчине гены, используя эти селекционистские маркёры ДНК, сейчас мы можем точно

асSEMBЛИРОВАТЬ любую комбинацию этих генов в любом сорту пшеницы путём обычного селектирования.

Благодарность

Осуществление исследовательской деятельности поддерживают Австралийский Центр Международного сельскохозяйственного исследования (ACIAR), Корпорация по Исследованию и Развитию Зерновых (GRDC) и Проект им Корнелл по развитию прочной резистентности пшеницы против ржавчины.

References

- Ellis JG, Dodds PN, and Lawrence GJ: Flax rust resistance gene specificity is based on direct resistance-avirulence protein interactions. *Annu Rev Phytopathol* 2007, 45: 289-306.
- Ayliffe, Michael; Singh, Ravi; Lagudah, Evans (2008) Durable resistance to wheat stem rust needed. *Current Opinion in Plant Biology* 11: 187-192
- Singh RP, Hodson DP, Jin Y, Huerta-Espino J, Kinyua MG, Wanyera R, Njau P, Ward RW: Current status, likely migration and strategies to mitigate the threat to wheat production from race Ug99 (TTKS) of stem rust pathogen. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 2006, 1: 1-13.
- Bonman, J.M., Bockelman, H.E., Jin, Y., Hijmans, R.J. and Gironella, A.I.N. 2007 Geographic distribution of stem rust resistance in wheat landraces. *Crop Sci.* 47: 1955-1963.

Внедрение генов: опыт индийских учёных

М. Прашар, С. С. Бхардвадж, С. К. Джейн, И. П. Шарма и Б. Мишра,
Отдел водных ресурсов, региональная станция Флауэрдэйл, Шимла (Индия)

Внедрение генов является стратегически важной задачей в задействовании резистентных генов на большой территории с целью снижения угрозы эпидемий. Существует много методов внедрения резистентных генов для создания разнообразия, однако они ничем не отличаются друг от друга, а представляют собой «подходящие сайты в континууме». В своё время исследователи выдвигали большое количество разнообразных методов, например, методов внутрислоевого разнообразия, междислоевого разнообразия, регионального внедрения резистентных генов и временного разнообразия. Несмотря на это, нам бы хотелось поделиться соображениями о некоторых важнейших составляющих, таких как региональное внедрение резистентных генов и временное разнообразие применительно к заболеванию пшеничной ржавчины, распространившемуся в стране. Индийским планом действия по борьбе с пшеничной ржавчиной, как и большинством других международных программ по пшенице, предусмотрено использование как резистентных генов, характерных для определённой расы, так и генов собственных взрослых растениям. Ниже изложены принципы применения данного подхода и его влияние на контроль за пшеничной ржавчиной.

Устойчивость к определённой расе была предложена в качестве контроля за ржавчиной яровой пшеницы, выращиваемой на Великих равнинах США и Канады при условии недействования такого гена на юге страны. В Северной Америке также было предложено нарушить «ход пукции» корончатой ржавчины пшеницы путём задействия устойчивости к определённой расе в трёх различных географических зонах. Основной целью данной стратегии было создание многообразной ведущей популяции посредством либо внутрислоевого, либо междислоевого разнообразия. Все эти предположения базировались на доводе, что патотипы ржавчины, образующейся в одном районе, как правило, авирулентны по отношению к злакам, культивируемым в другом районе в силу различия задействованных резистентных генов.

В Индии Программа по улучшению пшеницы включает в себя различные действия, нацеленные на контроль над пшеничной ржавчиной и развитие более качественных сортов пшеницы. Подобные действия подразумевают наблюдение за патогенностью и оценку гермплазмы на предмет устойчивости к ржавчине. Оценка устойчивости предселекционных линий достигается посредством интенсивного скрининга ржавчины при помощи большинства вирулентных патотипов. Косвенно такой скрининг привёл к разнообразной устойчивости к ржавчине индийской пшеницы. Такая целенаправленная работа подтвердила свою эффективность в прошлом, и мы надеемся, что она поможет нам и в будущем.

В Индии также предлагаются схемы задействия генов, нацеленные на предотвращение распространения пшеничной ржавчины в значительном масштабе. Выделение трёх различных зон листовой ржавчины стало первой из них и основывалось на преобладании различных патотипов в разных зонах. Было выдвинуто предложение засеять данные три зоны злаками с различными генами, резистентными к ржавчине. Естественно, было бы целесообразным использовать комбинацию различных генов для профилактики развития супер-расы. Позже данные области были поделены на шесть чётко выделяющихся зон в зависимости от агроклимата, экологического состояния и преобладания различных патотипов, что

ясно показало преходящий характер подобного разграничения, которое, вполне вероятно, менялось бы с появлением новых разновидностей.

Для более эффективного задействования генов должна быть собрана и сделана доступной следующая важная информация:

- исследования патогенности в стране,
- вирулентность экзогенных патотипов,
- эпидемиологические исследования.

Патогенные исследования являются неотъемлемой частью данной стратегии. Они проводились в стране с 1930-х гг. С помощью полученных данных таких исследований стало возможным проследить эволюцию патотипов ржавчины пшеничного стебля с момента её обнаружения. В 1930-е гг. предпочтение отдавалось высоким сортам индийской пшеницы. Началась систематическая работа по селекции пшеницы с применением селекции чистой линии и гибридизации устойчивых сортов с сортами серии Nr. В то время были открыты патотипы, вирулентные для сортов «Эникорн», «Вернал», «Кхалпи» и «Кота». Первые изоляты проявляли вирулентность в генах *9d* и *9g*. Было сделано интересное наблюдение, что все изоляты, развившиеся впоследствии, сохранили свои характерные черты. В отличие от них, для других аллелей, таких как *Sr9e*, дифференциальное поведение существовало с тех пор, когда они были впервые выявлены. Во время второго периода устойчивость *Sr11* (Габо, Ридли) и других генов была интрогрессивной. Тогда было отвергнуто много биотипов и выделены новые расы, вирулентные для *Sr30* (Ментана и Фестигэй). После интрогрессии гена *Sr11* наблюдалась дальнейшая вариация в пределах данных клеточных линий. Введение карликовых сортов пшеницы хотя и продемонстрировало дальнейшие изменения, однако не привнесло значительных изменений. Интересно то, что некоторые из этих изменений могли быть отнесены к «хозяину», а другие не имели к нему никакого отношения. Двумя важнейшими релевантными изменениями в пшеничной ржавчине явились открытие вирулентностей *Sr24* и *Sr25*, что повлияло на наши стратегические методы селекции даже против грибка Ug99.

С тем чтобы внедрение генов стало действительно эффективным, важным представляется установление роли экзогенного инокулята. Нарушения устойчивости сортов «Кальянсона», «Соналика» и *Yr9* к жёлтой ржавчине злаков впервые были выявлены в Восточной Африке, Турции, Сирии, Иране и Пакистане. В настоящее время проблема в том, что сходный путь миграции также был предсказан и для заболевания Ug99, поэтому важным представляется знать типичные черты таких патотипов, которые, как предполагается, появятся у нас в стране.

Эпидемиологические исследования пшеничной ржавчины в Индии выявили роль районов, являющихся источниками распространения ржавчины. Поскольку мы проводим конференцию по заболеванию Ug99, представляется весьма важным рассмотреть ржавчину стебля пшеницы более подробно. Выживание и распространение ржавчины является основным компонентом, подлежащим оценке, с целью того, чтобы сделать метод задействования генов более успешным. Проводившиеся ранее исследования показали, что горы Нилгири и Пални на юге страны играют важную роль в распространении пшеничной ржавчины. Инокулят с этих гор распространяется в Центральную Индию в зависимости от погодных условий и осадков. Другим крупным районом поражения данной инфекцией являются горы шт. Карнатака, где пшеница выращивается как летний злак. Пшеничная ржавчина способна выживать в условиях этих гор благодаря выращиванию там местных восприимчивых сортов дурум, где инфекция превратилась почти в эпидемию. Хотя площадь, задействованная под посевы пшеницы, мала, были обнаружены новые разновидности

этого заболевания. Например, за последние 5 лет в этом районе были выявлены 3 его разновидности. Следовательно, необходимо проверить роль данного очага распространения в процессе разработки эффективной долгосрочной стратегии борьбы с инфекцией. Распространение пшеничной ржавчины с гор Карнатаки происходит более интенсивно, чем это кажется. В то же время рассеивание инокулята с гор Нилгири хотя и кажется возможным, однако на самом деле менее вероятно. На севере страны Центральные Нилгири являются одним из основных мест заражения пшеничной ржавчиной, поскольку вначале ржавчина появилась у подножия гор и равнин вдоль границы с Непалом в шт. Уттар-Прадеш, после чего она стала распространяться на сельскохозяйственные угодья северной Индии, где она ослабевает к концу сезона роста злаковых благодаря прохладному горному климату на севере Индии, который, как предполагается, сдерживает / предотвращает раннее заражение ржавчиной. Более высокие горы северной Индии хотя и сдерживают инфекцию на самосевные растения и в невегетационный период, тем не менее, таким методам сдерживания распространения эпидемии в северной Индии не придаётся большого значения. Ведутся споры о том, действительно ли по причине низкой температуры распространение пшеничной ржавчины приходится в основном на летний период и выход её за пределы гор маловероятно. Несмотря на то что горы на севере страны менее активны по отношению к эпидемии пшеничной ржавчины, некоторые сделанные наблюдения не могут объясняться лишь этим фактором. Например, предполагается, что именно эти горы были очагом распространения эпидемии пшеничной ржавчины местного масштаба в вегетационный период в Санчоре, шт. Раджастан, в 1973-74 гг. Как пояснялось, распространение эпидемии началось как раз с северных гор, что осложнилось ранним засеиванием злаков, а именно: в августе-сентябре. Конечно же, если бы не преобладающий низкий уровень температур в горах, ржавчина могла бы распространиться из данного района и в другие области. С тех пор, когда были выдвинуты такие объяснения, многое изменилось. В настоящее время фермеры предпочитают скороспелые сорта пшеницы по причине рентабельности севооборота пшени-падди на Индо-Гангской равнине. Так что с тех пор произошло очень много перемен, и выращивание пшеницы претерпело значительные изменения. Следовательно, мы считаем, что назрела потребность в пересмотре некоторых из таких наблюдений, поскольку отдельные «белые пятна» до сих пор остаются необъясненными. Поэтому в будущем нам будет необходимо принимать во внимание данные наблюдения в процессе разработки методов внедрения генов.

Сбор вышеуказанной информации показывает, что предложение способов задействия различных генов в разных районах страны требует определённых ограничений.

Информация, собранная на основе прошлых методов действия, применялась для предложения культивации сортов пшеницы, устойчивых к ржавчине.

Исследования отдельных случаев подтверждают пользу такого метода, поскольку за последние двадцать лет значительного развития пшеничной ржавчины в стране не отмечалось.

Успешным, хотя и случайным методом задействия гена, устойчивого к пшеничной ржавчине, явилось выращивание на больших площадях полуострова Индостан сорта HD2189. В настоящее время данная культура устойчива к индийскому патогену пшеничной ржавчины. Другим устойчивым сортом является сорт DWR162 с геном *Sr31*, выращиваемый в шт. Карнатака. Так что инокулят, распространяющийся из Карнатаки на горы Нилгири, не имеет возможности размножиться, поскольку он оседает на резистентные гены, в результате чего три популярных сорта Центральной

Зоны, а именно: «Лок-1», «Суджата» и WH147, хотя и считаются восприимчивыми, но защищены от переносимого инокулята.

Проведённые нами исследования далее выявили, что преобладание патотипов в том или ином регионе зависит от «хозяина» и преобладающих погодных условий, что может быть использовано в процессе внедрения генов. За последнее десятилетие вирулентные изоляты пшеничной ржавчины были обнаружены в сортах «Эникорн», «Кота» и «Рилайэнс», преобладавшими некоторое время в природе. Более поздние исследования отмечают, что вирулентности таких генов, как *Sr13* и *Sr30*, понизились и в природе больше не наблюдаются. Так что оба этих гена, наряду с другими, например, *Sr32*, *35*, *39* и *43*, могли бы легко применяться на полуострове Индостан и в Центральной Индии. По аналогии, вирулентный сорт с геном *Sr24*, обнаруженный в Веллингтоне, не выходит за пределы данной области на протяжении более десяти лет. Даже в пределах гор Нилгири такая вирулентность не является доминирующей, несмотря на сам факт её наличия, поэтому данный ген можно использовать в районах, где вирулентности ещё не были обнаружены или откуда ещё не мигрировали. Сходные наблюдения были сделаны и по отношению к бурой ржавчине. Исходя из вышеизложенного, ясно, что развитие эпидемии пшеничной ржавчины в стране может быть остановлено вследствие принятия подобных мер.

Другим успешным примером, который следовало бы здесь упомянуть, является история заболевания жёлтой ржавчины в зоне северо-восточной равнины. Исторически здесь сложилась культивация карликового сорта пшеницы *Yr2* («Кальянсона-8156»), за которым последовал *Yr2+ A* («Соналика»). Когда «Соналика» стала проявлять в данной зоне восприимчивость, был предложен другой генотип с геном *Yr2+A* и дополнительным геном / генами (HD2329). Затем в 2001 г. вирулентный ген *Yr9* распространился, как предполагают, из Западной Азии. До того как данная вирулентность смогла нанести большой урон урожаю, для выращивания была предложена новая болезнеустойчивая разновидность PBW343. Таким образом, данные патогенных исследований доказывают, что устойчивые разновидности использовались на сельскохозяйственных угодьях. В некоторых близлежащих странах, где внедрение гена / замещение разновидности не применялось, отмечалась тяжёлая заражение вирулентным геном *Yr9*.

Селекция PBW343 во время преобладания вирулентного гена *Yr9* подтвердила свою полезность, поскольку оказалась болезнеустойчивой. В настоящее время вирулентные культуры PBW343 произрастают в природе. Несмотря на это, данный сорт оказал замедляющее действие на развитие ржавчины и проявил выносливость при засеивании на сельскохозяйственных полях. В то время как другие сорта, содержащие *Yr9*, такие как UP2338, HS240, довольно восприимчивы к жёлтой ржавчине и постепенно вытесняются на фермерских хозяйствах или занимают очень малую посевную площадь.

Исходя из усилий, предпринятых в прошлые годы, проблема Ug99 также с большим энтузиазмом решается посредством стратегических инициатив, например, анализом реакции индийской пшеницы в Кении на заболевание Ug99 и селекцией болезнеустойчивости. Мы надеемся, что такие усилия вкупе с данными исследований и усилиями в области селекции сумеют защитить наш урожай против инфекции Ug99 с помощью внедрения устойчивых сортов.

**Международная конференция по проблеме
Ug99, стеблевой ржавчины пшеницы –
Угроза продовольственной безопасности
6-8 ноября, Нью-Дели, Индия**

Производство сортов семян, устойчивых к грибковой инфекции Ug 99

**Том Осборн, ФАО (Организация по продовольствию и сельскому хозяйству ООН
)**

Введение

Грибковое заболевание Ug 99 представляет серьезную угрозу для мирового производства пшеницы. Вывод устойчивых к грибку сортов, разработка систем наблюдения и контроля и эффективных способов по защите посевов является важнейшей составляющей стратегии по уничтожению ржавчины пшеницы, которую необходимо внедрить в ближайшее время. Однако для того, чтобы принять эффективные меры против угрозы распространения Ug 99, необходимо в ближайшее время обеспечить фермеров рядом устойчивых к грибку сортов семян в регионах с высоким риском заболевания. Одними из основных мероприятий по срочному рассеиванию Ug 99-устойчивых сортов являются:

1. Эффективное планирование (План чрезвычайных мер, касающихся производства семян)
2. Срочная оценка качества сортов и их выпуск (обычно на это требуется несколько сезонов)
3. Срочное размножение семян (изначальная цель – семена для 10% всей площади выращивания пшеницы, может быть достигнута за несколько лет)
4. Осведомленность о сортах и распространение семян среди фермеров (постоянная деятельность)

Описание основных мероприятий

1. Эффективное планирование (план чрезвычайных мер)

План чрезвычайных мер – это часть подготовки более широкого плана действий в непредвиденных обстоятельствах, необходимый для предотвращения угрозы грибка Ug99. Эффективное планирование потребует задействования всех заинтересованных участников, включая государственную службу защиты растений, селекционеров из НИИ сельского хозяйства, участников семенной отрасли (государственных и частных), служб по распространению с/х опыта и фермерские организации. Потребуется проведение обучающих семинаров на национальном уровне, уровне областей/штатов, районов для того, чтобы привлечь заинтересованных участников для повышения уровня их осведомленности и разработки плана действий, включающего в себя такие вопросы, как распределение ролей и обязанностей, потребность в кадрах, материалы и оборудование, потребность в земле с соответствующей инфраструктурой, т.е. системой орошения для эффективного размножения семян. Ожидается, что в процесс планирования будут в значительной мере включены компании по производству семян и фермерские организации частного сектора, поскольку масштаб мер потребует строгого следования принятым обязательствам со стороны всех заинтересованных участников. Процесс участия начнется с обучающих семинаров, на которых

междисциплинарные/ межучрежденческие рабочие группы получают задание разработать план действий для включения в них мероприятий, описанных ниже.

2. Срочная оценка качества сортов и их выпуск

После того, как перспективные сорта зерновых разработаны и протестированы селекционерами, новые сорта зерновых должны пройти оценку качества и систему выпуска, прежде чем их можно будет размножить и использовать для засеивания. Ожидается создание многочисленных линий сортов, устойчивых к грибку UG99, адаптированных под ряд агроэкологических зон, с различными органолептическими характеристиками, выведенных в результате международных селекционных достижений по выведению устойчивых к UG99 семян. Национальные программы, на которые возложена обязанность отбора сортов, устойчивых к UG99, будут иметь возможность выделить наиболее перспективные сорта для оценки и выпуска, с последующим использованием в национальных программах по селекции сортов, устойчивых к UG99. Подобным образом ожидается, что страны будут иметь возможность совместного использования перспективных линий, устойчивых к UG99, с тем, чтобы ускорить процесс тестирования и выпуска широкого ряда сортов пшеницы, устойчивых к UG99. Важно, чтобы системы сортового контроля были тесно связаны с международными источниками информации по вопросам данных о сортах и показателям в различных агроэкологических зонах. Принимая во внимание мировой масштаб эпидемии болезни и потребность в глобальных ответных действиях, необходимо принять меры по рассмотрению способов совместного выпуска семян внутри регионов, или, при отсутствии регионального выпуска, иметь условия для исключения из системы обязательной регистрации сортов пшеницы, устойчивых к грибку, произведенных в регионе с похожими агроэкологическими условиями. Серьезная угроза UG99 означает, что система оценки сортов и выпуска может нуждаться в усовершенствовании для продуктивной и эффективной работы, но в то же самое время это необходимо выполнить в максимально короткий срок. Оценка сортов и их выпуск не должны замедлять получение сортов, устойчивых к грибку, фермерами. Следующие мероприятия должны быть рассмотрены:

- Оценка результатов, полученных из питомников, зараженных UG99, по всему миру, в дополнение к межзональным пробам и регистрации сортов с целью установления возможности усовершенствования и стандартизации процедур между странами для облегчения обмена зародышевой плазмой и данными по сортам, а также облегчения совместного выпуска устойчивых к грибку сортов по всем агроэкологическим зонам независимо от политических границ.
- На основании национальной оценки, усиление и усовершенствование национальной межзональной адаптации и проб сопротивляемости к вредителям и болезням для сортов, устойчивых к грибку UG99.
- Пересмотрение и усиление политики и национальной методике по выпуску сортов
- Принять необходимые меры, чтобы вопросы защиты сортов пшеницы и прав интеллектуальной собственности, относящиеся к сортам, устойчивым к UG99, были урегулированы.

3. Срочное размножение семян

Как только сорта пшеницы, устойчивые к UG99, зарегистрированы на национальном или региональном уровне и готовы к выпуску, необходимо принять национальную стратегию размножения семян и распространения качественных семян устойчивых к

ржавчине сортов, для того чтобы заменить сорта, подверженные заболеванию ржавчиной, в зонах высокого риска заражения или в зараженных областях. Это не является бессрочной или краткосрочной мерой, поскольку ожидается, что ряд устойчивых к UG99 сортов будет выпущен с течением времени в рамках международных и национальных программ селекционирования. Также важно сохранить разнообразие сортов пшеницы с широкой генетической базой для избежания потенциальной угрозы заражения другими болезнями или уменьшения сопротивляемости к ним. В качестве отправного пункта, изначальная цель срочного размножения семян – охват 10% всей площади выращивания пшеницы. В большинстве стран данный цикл возможно завершить за 3-4 поколения (см. Таблицу 2). Реальные задачи по срочному размножению семян будут зависеть от реальной и потенциальной угрозы заражения UG99 и будут конкретизированы в ходе разработки плана чрезвычайных мер и системы наблюдения и контроля. В национальную стратегию по срочному размножению семян будут также включены мероприятия областного/штатного и районного масштаба, поскольку по большей части размножение семян будет производиться на областном и районном уровне. И хотя некоторые страны, подверженные угрозе UG99, уже обеспечены системой размножения семян, может потребоваться внесение изменений для того, чтобы удовлетворить острую необходимость срочного широкомасштабного размножения семян и распределения сортов, устойчивых к UG99, особенно в уязвимых малых фермерских хозяйствах. Срочность не должна отрицательно сказываться на производстве качественных сертифицированных семян, и здесь потребуются серьезное влияние национальной службы семенной инспекции и соответствующих агентств по сертификации семян для произведения инспекции, тестирования и сертификации семян. Некоторым странам может понадобиться усилить свои службы по сертификации семян для того, чтобы удовлетворить данный спрос посредством тренингов и других средств поддержки. Также могут понадобиться такие производственные ресурсы и технические средства, как тракторы, сельскохозяйственные машины, оборудование для орошения, комбайны и т.д., для того чтобы обеспечить получение максимальной производительности из раннего поколения после размножения семян. Необходимо провести проверку оборудования и приспособлений для хранения и кондиционирования (переработки) семян для того, чтобы ничто не препятствовало процессам срочного размножения, переработки и распространения качественных семян. Сотрудничество с частными компаниями по производству семян может стать самым быстрым и рентабельным способом производства семян. Хорошо скоординированная система срочного размножения семян потребует эффективного сотрудничества и высокого уровня взаимодействия для достижения успеха.

Таблица размножения семян*

Таблица 1 Посевная норма в 100кг/га с варьирующимся выходом (3т/га, 4т/га и 6т/га)

Поколения	К-во произведенных семян в тоннах с различным коэффициентом размножения семян		
	1:30	1:40	1:60
Исходное кол-во семян	0.05	0.05	0.05
Первое	1.5 (0.5 га)	2.0 (0.5 га)	3.0 (0.5 га)

Второе	45 (15 га)	80 (20 га)	180 (30 га)
Третье	1,350 (450 га)	3,200 (800 га)	10,800 (1800 га)
Четвертое	40,500 (13,500 га)	128,000 (32,000 га)	648,000 (108,000 га)
Пятое	1,215,000 (405,000 га)	5,120,000 (128,000 га)	38,880,000 (648,000 га)

(Цифры в скобках означают площадь, которая потребуется для производства семян соответствующего поколения)

Чтобы дать представление о количестве поколений, площади, необходимой для размножения и площади, которую могут покрыть семена при различных коэффициентах размножения, в данных таблицах представлена основная информация по системам размножения семян, начиная с 50 кг проросших семян. Важность интенсивного производства семян посредством оптимальных стратегий управления и рационального водоиспользования для получения более высокого коэффициента размножения семян подчеркивает необходимость использования данного метода для увеличения скорости производства семян. Также обширные площади, требуемые для размножения семян, дают представление о масштабе производства семян, необходимом для устранения угрозы UG99.

Таблица 2 Площадь, отведенная под возделывание пшеницы, 10% целевая зона и % площади, занятой после 4 поколений при коэффициенте размножения 30, 40 и 60

№	Страна	Площадь, отведенная под возделывание пшеницы в 2007	10% площади пшеницы	% площади, которая будет занята после 4 поколений при следующих коэффициентах размножения семян		
				1:30	1:40	1:60
	Азербайджан	2,190,000	219,000	18.4	58.4	100
	Алжир	1,785,000	178,500	22.6	71.7	100
	Армения	113,300	11,330	100	-	-
	Афганистан	486,990	48,699	83.4	100	
	Бангладеш	805,000	80,500	50.3	100	-
	Грузия	30,000,000	3,000,000	1.4	4.3	21.6
	Египт	1,139,000	113,900	35.6	100	-
	Индия	1,351,000	135,100	29.9	94.7	100
	Иордания	61,000	6,100	100	-	-
	Ирак	28,035,000	2,803,500	1.4	4.6	23.1
	Иран	6,400,000	640,000	6.3	20.0	100
	Йемен	531,210	53,121	76.2	100	-
	Кения	30,000	3,000	100	-	-
	Китай	150,000	15,000	100		
	Кыргызстан	354,500	35,450	100	-	-
	Ливан	48,000	4,800	100	-	-
	Ливия	257,000	25,700	100	-	-
	Марокко	1500,000	150,000	27.0	85.3	-
	Непал	472,000	47,200	85.8	100	-

	Оман	275	27.5	100	-	-
	Пакистан	8,494,000	849,400	4.8	15.1	76.3
	Саудовская Аравия	462,000	46,200	87.7	100	-
	Сирия	250,000	25,000	100		
	Судан	1,850,000	185,000	21.9	69.18	100
	Таджикистан	330,000	33,000	100	-	-
	Тунис	974,000	97,400	41.6	100	-
	Турция	8,600,000	860,000	4.7	14.9	75.3
	Уганда	11,000	1,100	100	-	-
	Узбекистан	1400,000	140,000	28.9	91.4	100
31.	Эфиопия	114,030	11,403	100		

Таблица №2 имеет своей целью дать представление о примерном количестве семян, которое может потребоваться в каждой стране. Сюда включена ориентировочная цель покрытия семенами 10% от общей площади. В дополнение процентное соотношение площади, которая может быть занята 4 поколениями производства семян при коэффициенте размножения 30, 40 и 60, демонстрирует потребность в интенсивном производстве семян пшеницы для того, чтобы уменьшить время достижения запланированных объемов.

3.1 Как ускорить производство семян?

Представителям многих стран хотелось бы узнать, как ускорить процесс размножения семян. Предлагаем к рассмотрению несколько способов.

- Можно начать производство семян до того, как сорт будет официально выпущен, для того, чтобы начать дальнейшее производство с большего количества семян.
- Расчеты по производству семян основывались на первоначальной цифре 50 кг. Если в наличии имеется большее количество семян, тогда запланируемый объем может быть достигнут гораздо быстрее.
- Интенсивное управление изначальным размножением семян способно повысить коэффициент размножения с 30 до 50 и более. Это потребует безупречного управления урожаем, т.е. подготовки семенного ложа, точного высева, эффективной борьбы с сорняками, высокого уровня плодородия почвы, орошения, борьбы с сельскохозяйственными вредителями, а также своевременной уборки урожая. Управление плодородностью почвы должно вестись тщательно, с тем чтобы предотвратить полегание посевов.
- Некоторые страны имеют возможность производить 2 урожая в год, что является основным преимуществом для ускорения производства семян. Также возможно заключение соглашений о сотрудничестве между странами о производстве более чем одного урожая в год.
- Импортное крупное количество семян из надежных источников для ускорения начала размножения семян. Для этого потребуется проведение оценки степени риска наличия вредителей.
- Установление регионального принципа доступа к сортам, которые необходимы в конкретном количестве. Определенные страны могли бы специализироваться на производстве определенных сортов зерна, устойчивых к UG99.

3.2 Хранение семян

Семена пшеницы могут быть эффективно сохранены, не теряя своей силы и всхожести, если приняты необходимые меры. Хранение семян пшеницы без ухудшения их

качества возможно при условии, что процентное содержание влаги составляет менее 13 процентов, влажность низкая, внешняя температура хранения не превышает норму и заражение насекомыми-вредителями хранящихся запасов сведено к минимуму. Небольшие объемы семян могут храниться продолжительное время в прохладном месте. Превосходная сохраняемость семян пшеницы предоставляет возможность для срочного размножения сортов семян, устойчивых к грибку UG99, и создания стратегического запаса семян даже до возникновения угрозы распространения UG99 в стране. С помощью данного метода сорта пшеницы, устойчивые к UG99, могут быть срочно использованы, когда в этом возникнет необходимость. Подобным образом, по мере разработки новых сортов, устойчивых к UG99, их можно в срочном порядке размножить и с их помощью увеличить стратегические запасы зерна для создания различных источников сопротивления болезни и генетического многообразия.

4. Осведомленность о сортах и распространение семян среди фермеров

Фермерам необходимо знать об угрозе заражения UG99 и познакомиться с сортами, устойчивыми к грибку. Для этого будет необходимо оборудовать демонстрационные площадки для ознакомления фермеров с сортами семян, устойчивых к UG99 и способами борьбы с UG99 посредством фермерских организаций.

- Работа со службами по распространению с/х опыта, службами по защите растений, и компаниями по производству семян для повышения информированности фермеров по вопросу адаптированных сортов, устойчивых к ржавчине, посредством кампаний по распространению семян, в том числе на полевых демонстрационных площадках. Изначальная цель должна быть направлена на области с высоким риском заражения грибом UG99. Демонстрация также должна быть связана с системами контроля и обнаружения грибка UG99, а также способами производства и другими методами для ограничения распространения UG99.
- Совместно с органами федеральной власти разработка и содействие внедрению децентрализованной стратегии по размножению и распределению качественных семян устойчивых к ржавчине сортов для того, чтобы заменить сорта, подверженные риску заражения ржавчиной, с помощью государственных и частных компаний.
- Укрепление базы данных Национального агентства по сертификации семян, национального реестра сортов растений, для включения в них таких пунктов как карантин растений по вредителям/заболеваниям, в частности по штамму ржавчины UG99, к которому сорт устойчив.

Ключевые моменты в принятии безотлагательных мер для руководителей как часть составления плана чрезвычайных мер

- Разработайте план чрезвычайных мер с широким охватом , четким распределением ролей и обязанностей и необходимых ресурсов
- Примите необходимые меры для того, чтобы системы были введены в действие для срочного выпуска сортов, устойчивых к грибку UG99
- Примите необходимые меры для того, чтобы мощность и система были установлены для первичного и непрерывного срочного размножения сортов семян, устойчивых к UG99
- Определите подходящие способы по ускорению размножения семян, например, интенсивное управление, внесезонное производство, а также импортирование сортов семян, устойчивых к UG99

- С помощью частных и государственных компаний, а также фермерских объединений, создайте системы повышения информированности о штамме ржавчины UG99 и демонстрации сортов семян, устойчивых к UG99.

Химическое и культуральное управление патогеном злаковой ржавчины (Юг-99) TTSK в Кении.

Ваниэра Р. Кенийский сельскохозяйственный научно-исследовательский институт (KARI)

Ниоро, Р.О. абонентский ящик, Ниоро-20107, Кения

e-mail waniera@ plantprotection.co.kelwaniera@karinjoro.org

Злаковая ржавчина (*Triticum aestivum*), вызванная возбудителем гриба *Puccinia graminis f.sp.tritici Eriks & E.Henn*, широко распространена в зерновых культурах Кении. Эпидемии ржавчины часто происходят когда экологические условия в период сельскохозяйственного сезона благоприятны. В 2003 году она пронеслась вдоль плоскогорных регионов и уничтожила урожай зерновых как малых, так и крупномасштабных фермерских хозяйств. Большинство коммерческих сортов злаковых теперь очень восприимчиво к новым заражениям , что усложняет выращивание урожая без серьезных потерь и применения фунгицидов.

Пока методика сопротивления - наиболее эффективный метод управления злаковой ржавчиной. Кения еще не имеет коммерческого разнообразия адекватной защиты. Поэтому, пока новые сорта злаковых с усовершенствованным сопротивлением не созданы, для лечения листьев и зерновой части используются фунгициды. За это время инфицирование злаковых существенно возросло, в результате чего к 2007 году эпидемиологические уровни уже наблюдались на полях фермеров. Большинство фермерских хозяйств были взяты врасплох, столкнувшись с заражением, так как заболевание не было предварительно распознано и не имелось никаких фунгицидов, целенаправленно разработанных для злаковых.

При эпидемии потери зерна на экспериментальных участках составляют до 70 %, в фермерских хозяйствах- свыше 70%. Это соотношение опыляемых и не опыляемых частей зерновых. Распыление только сокращает заболевание, но не устраняет. В 2007 году фермеры, никогда раньше не управлявшие процессом заболевания, потеряли 100% своего урожая, не зависимо от его разнообразия.

Краткосрочное управление злаковой ржавчиной, если инфекция не серьезная, может быть достигнуто фунгицидами. Некоторые из листовых фунгицидов, рекомендованных для листьев зерновых, могут быть тоже использованы, чтобы частично уменьшить инфицирование. Поскольку фермерские хозяйства не могут идентифицировать ржавчину, рекомендуется проводить сбрызгивание в два этапа, 60 дней и 75-80 дней после начала применения. В этот период фермеры могут начать еженедельные исследования болезни на стеблях. Третье опрыскивание будет необходимо если болезнь будет обнаружена на самом урожае. Нормы применения фунгицида при данном поражении потребуются значительно выше, чем в обычных случаях .

Все фунгициды, используемые в Кении, поставляются множеством агрохимических компаний. Компания Bayer Crop Science East Africa обеспечивает около 48% общей потребности Кении в фунгицидах. Остальной процент обеспечивается компаниями Syngenta East Africa (23%) и Amiran Kenya Kenya Ltd. Свою роль играют и компании Osho Chemical Industry, Twida Chemical Industry, Prestige, FarmChem. Большая часть фунгицидов рекомендуется для использования при заражении злаковых желтой ржавчиной (возбудитель – гриб *Puccinia striiformis*) и желтой ржавчины , вызванной грибом *Puccinia recondite*. Столкновение активности фунгицида с заражением злаковой ржавчины было проиллюстрировано на трех пробных сайтах. Существенные черты

были прослежены в фунгицидах в их способности управлять зерновой ржавчиной. Изучение показало, что ржавчина может существенно сократить урожай зерновых и что листовые фунгициды могут использоваться в борьбе с инфицированием только как краткосрочный метод контроля. Фермеры Кении могут эффективно удерживать подавления активности злаковой ржавчины, принося этим общую пользу.

Разработка питомников-ловушек: совместный скрининг, оценка, контроль вирулентности, выявление изменчивости

Г. Ортиз-Феррара, СИММИТ-Непал (G.Ortiz-Ferrara@cgiar.org)

Введение

Три вида ржавчины продолжают оставаться самыми серьёзными заболеваниями пшеницы в мире, охватившими большинство сельскохозяйственных угодий, занятых посевами данного злака. В силу своей стратегической значимости, в 1950-х гг. была введена в действие международная программа испытания устойчивости (устойчивостей) к данному заболеванию, приведшая к организации Международного питомника по ржавчине (IRN) Департаментом сельского хозяйства США (Саари и Найяр, 1997 г.). Несмотря на то, что этот питомник был создан с целью испытания устойчивости (устойчивостей) к ржавчине, он превратился в механизм распределения зародышевой плазмы и источник информации по различным аспектам адаптации пшеницы. Всё это помогло исследователям учесть факторы, относящиеся к генетике устойчивости, её стабильности и продолжительности.

После Второй мировой войны начали предприниматься усилия по ликвидации голода в странах третьего мира, объединившие множество организаций и стран. Частичным результатом таких усилий явились созданные серии Центров по международному сельскохозяйственному исследованию. Одним из таких центров является Международный центр селекции пшеницы и кукурузы (СИММИТ) в Мексике, нацеленный на изучение кукурузы и пшеницы. В середине 1960-х гг. СИММИТ оказался вовлечённым в проблемы производства пшеницы, возникшие на полуострове Индостан. Сотрудничество же способствовало регулярному обмену зародышевой плазмой, данными, полученными из питомников, и взаимными визитами учёных.

Обмен зародышевой плазмой и информацией по потенциально возможному урожаю, адаптации и сопротивлению (сопротивлениям) заболеванию обеспечило производство продуктов питания и их безопасность. Созданная международная сеть также помогла учёному сообществу лучше понять генетику патогена-хозяина, разнообразие патогенности и стабильность или продолжительность устойчивости (устойчивостей).

На протяжении 1960-х гг. заболевания ржавчины оставались самыми угрожающими для посевов пшеницы в Индостане. Записи, ведущиеся с 1800-х гг., указывают на то, что преобладающим заболеванием была чёрная, или стеблевая ржавчина, вызванная *Russinia graminis* f. sp. *Tritici*. Вследствие мировой значимости, после окончания Второй мировой войны международной общественностью были предприняты значительные усилия по развитию и выявлению разновидностей пшеницы, устойчивых к стеблевой ржавчине, в которые оказались вовлечены селекционеры пшеницы и патологи многих стран. Зародышевая плазма распределялась через Международный питомник стеблевой ржавчины (ISRN). Этот и последующие питомники пшеничной ржавчины были организованы Департаментом сельского хозяйства США. Они помогли установить источники устойчивости, изменчивости и измерить их адаптацию.

Благодаря широкому использованию устойчивости, разнообразию сортов и общегосударственным усилиям по контролю за заболеванием, частота и мощность эпидемий листовой и жёлтой ржавчины за последние годы стали уменьшаться.

Необходимо объединить региональные и международные усилия в целях совместного скрининга заболевания, оценки и обмена зародышевой плазмой, контроля вирулентности и дальнейшего обмена информацией.

Важность контроля заболевания в профилактике эпидемий

С целью предотвращения эпидемий возможно проведение контроля как самого заболевания, так и одного или нескольких его составляющих (Янг и др. 1978 г.). Было сделано много попыток дать определение термину «эпидемия». Самые приемлемые из них были даны Ван дер Планком в 1963 г., Задоксом в 1972 г. и Кранцом в 1974 г. Разумеется, главное внимание при этом уделялось мощности эпидемий. Так, для фермера эпидемией считается всё, что уничтожает его урожай, независимо от того, повлияли ли эти же самые природные явления на его соседей, государство или международную экономику в целом. Как бы то ни было, как говорится, «скрипящее колесо смазывают», а опасным эпидемиям основных злаковых культур в конечном итоге уделяется должное внимание. В то или иное время значительным эпидемиям подвергались все злаковые культуры. Серьёзные эпидемии пшеницы листовой и жёлтой ржавчины имели место в Западной и Южной Азии (Саари и Найяр, 1997 г.).

Сведения об эпидемиях, которыми мы располагаем в настоящее время, были получены в результате контроля за их естественным развитием и проведения опытов. Следовательно, логичным будет предложить метод наблюдения в качестве контролирующего эпидемии инструмента. Несколько способов мониторинга заболевания были описаны Юнгом и др. в 1978 г., важнейшими из которых являются применение фенологии, контроль погодных условий, измерение инокулята, наблюдения за состоянием фермерских полей, сбор растительного материала, анализ образцов рас и использование питомников-ловушек.

Успешный опыт применения питомников-ловушек пшеничной ржавчины

В течение многих лет основу программ по контролю за заболеванием пшеницы составляют питомники-ловушки, являющиеся неотъемлемой частью ряда селекционных программ в США, Австралии и Европе. Такие питомники ценны не только тем, что предоставляют информацию, требующуюся для прогноза пшеничной ржавчины, но и тем, что проводят более тщательную оценку источников устойчивости к заболеванию по сравнению с теплицей или экспериментальными участками инокулята. Они позволяют отслеживать изменения вирулентности в патогенных популяциях и поставляют образцы патогенных сортов, предназначенных для анализа новой зародышевой плазмы. Важным дополнительным преимуществом является то, что питомники-ловушки держат исследователей пшеницы в курсе поведения различных коммерческих культур при разных методах их выращивания. В результате этого учёные лучше подготовлены для ответов на вопросы, поступающие от службы пропаганды сельскохозяйственных знаний и внедрения достижений или напрямую от фермеров.

Одним из самых успешных примеров первых теплиц такого типа считается Региональный питомник-ловушка заболеваний (RDTN), основанный с целью организации национальных программ по контролю за заболеванием пшеницы, который может применяться в стабилизации производства пшеницы путём снижения до минимума потенциальных потерь вследствие эпидемий. Ниже представлены особые задачи данного питомника-ловушки:

1. Контроль и составление кривых вероятности развития заболевания для каждой отдельно взятой большой сельскохозяйственной площади, засеянной пшеницей.

2. Определение диапазона вирулентности популяций патогена в пределах региона и их распределение в зависимости от источников устойчивости.
3. Установление влияния коммерческих сортов на потенциал инокулята и их действие на патогенные популяции.
4. Предоставление информации по рекомендуемым сортам и определение сортов, находящихся в потенциальной опасности, коммерческое производство которых должно быть остановлено.
5. Как можно более раннее выявление новых изменений в характере вирулентности и выяснение степени потенциальной значимости таких перемен.
6. Поиск новых источников устойчивости по отношению к новым потенциальным вирулентностям.
7. Содействие в составлении карт продвижения и географического распространения заболеваний, особенно заболеваний, продвигающихся по направлению к государственным границам.
8. Определение составляющих окружающей среды, уменьшающих или ограничивающих распространение заболевания и его развитие.

В начале 1980-х гг. уменьшение количества питомников, содержащихся многими кооператорами, и в то же время поддержание высокой степени контроля за заболеванием дополнялось сочетанием следующих питомников пшеничной ржавчины: (а) Международный питомник по испытанию жёлтой ржавчины, (б) Европейский питомник листовой ржавчины, (в) Египетский питомник-ловушка и (г) Региональный питомник-ловушка заболевания пшеничной ржавчины (RDTN). Питомники RDTN отправлялись во многие страны Северной и Восточной Африки, а также в Западную и Южную Азию. Питомники RDTN были разделены на типы «А» и «Б». Питомник типа «А» состоял из примерно 50 наиболее распространённых сортов в регионе и использовался для определения преобладающей флоры расы пшеничной ржавчины и оценки потенциального развития заболевания в каждом из крупнейших районов выращивания пшеницы. Некоторые из таких подопытных сортов были либо слишком ранними, либо слишком поздними, высокими или отстававшими в росте, слишком чувствительными к свету или к заболеванию. Все эти причины сделали для некоторых кооператоров затруднительным поддержание питомника и получение на его основе полезных данных. Питомник типа «Б» включал в себя тип «А» и, вдобавок к этому, около 50-60 селекционных линий генов однократной комбинации или отдельных важных источников устойчивости к ржавчине. Питомник типа «Б» явился попыткой измерения характера (рас) вирулентности и потенциала в каждом районе и определения эффективных источников устойчивости. Предпринимались постоянные усилия по включению в питомник типа «А» характерных образцов коммерческих сортов пшеницы, выращиваемых в регионе. По мере возможности проводились еженедельные исследования на подверженность заболеванию вплоть до подтверждённого появления непосредственно самого заболевания. Поощрялось стремление кооператоров давать периодическую оценку питомнику или, по крайней мере, проверке чувствительности. Эти данные использовались для составления кривых развития заболевания для каждой отдельно взятой местности. Каждый год выпускался и распространялся краткий отчёт по проделанной работе. Похожие питомники-ловушки в настоящее время имеются у СИММИТ и ИКАРДА, включая национальные питомники, основанные в Индии и других странах. Контроль, проводящийся с помощью питомников-ловушек, считается чрезвычайно трудоёмким занятием, а уделение внимания к задействованным генеалогическим линиям - делом первостепенной важности.

Питомник-ловушка более полезен для патогена, демонстрирующего присутствие рас в силу того, что селекция, направленная против новой вирулентности, является методом

преодоления новой проблемы. Питомники-ловушки представляются полезными только при условии их размещения в ключевых зонах. Основными проблемами являются: недостаток внимания к точности регистрируемых сведений и к поддержанию чистоты генеалогических линий, наличию примесей при посеве и т.д. В некоторых NARS (национальных системах сельскохозяйственных исследований) семена, используемые в питомниках-ловушках, быстро становятся несоответствующими текущим требованиям, а питомники утрачивают свою значимость, что приводит к получению неправильной информации. Особо важным представляется контроль за генеалогическими линиями. Подобным образом пополнение и повсеместное распространение новых семян из одного-единственного источника является весьма дорогостоящим занятием (затраченное время на их производство + перевозка). Другим аспектом является то, что если изолинии имеются в данных по яровой пшенице, то их можно использовать в странах с озимыми посевами. Если изолинии появляются в данных по озимой пшенице, то производство и хранение семян становится проблематичным.

Успехи Программы СИММИТ по пшенице в области развития зародышевой плазмы объясняются внедрением устойчивости к ржавчине. Внедрение устойчивости к стеблевой и листовой ржавчине оставалось приоритетной задачей на протяжении долгого времени. Большая часть проведённых ранее работ опиралась на данные, полученные из Систем международных питомников. Данные, полученные из разных географических зон, использовались в процессе оценки «силы» устойчивости и изменчивости патогена. Работа по устойчивости к ржавчине на международном уровне была инициирована в СИММИТ д-ром Н. Е. Борлаугом и продолжена благодаря усилиям ныне покойного д-ра Р. Г. Андерсона, д-ра С. Раджарама, д-ра М. В. Гинкеля и д-ра Р. П. Сингха, а её продолжателем в настоящее время является д-р Сингх.

Введение и распространение полукарликовых сортов пшеницы в Индии и Пакистане в 1960-х гг. и их применение в других странах Западной Азии и Северной Африки в 1970-х гг. оказалось успешным благодаря максимально возможному урожаю и способности к адаптации. Важным фактором применения полукарликовых сортов явилась слабая степень выраженности заболевания пшеничной ржавчины. Имеются определённые сомнения по поводу того, стали бы они столь широко выращиваться и применяться, если бы не внедрение устойчивости к ржавчине. Ярким примером того является стеблевая ржавчина, считавшаяся после Второй мировой войны локальным заболеванием. Быстрое распространение полукарликовых сортов пшеницы оказало большое влияние на патогенные популяции, что было подтверждено данными, полученными из ряда питомников, включая организованные с этой целью питомники-ловушки заболевания.

Изучение и наблюдение разновидностей пшеничной ржавчины в Индии имеет длинную и отлично документированную историю (Нагараджан и Джоши, 1985; Найяр и др. 1994 г.). Индия утвердилась в качестве лидера исследований в области эпидемиологии, взаимодействий патогена-хозяина и генетики устойчивости. Такого результата невозможно было бы достигнуть без поддержки и развития соответствующих условий и опыта. Роль такой поддержки в будущем существенно возрастёт в случае необходимости обеспечения объёмов урожая и поддержания достигнутого уровня производства. Многими исследователями сложность систем патогена-хозяина при заболеваниях ржавчины в полной мере не осознаётся. Это чрезвычайно специфическая, естественная система, определённая в биотехнологии как и любая другая система молекулярного маркера. Проблемой, с которой в настоящее время сталкиваются лаборатории по исследованию пшеничной ржавчины, являются затраты на их содержание и обновление оборудования. Успешные лаборатории имеют

развитую инфраструктуру и квалифицированный персонал. Тем не менее, во многих развивающихся странах лаборатории по исследованию ржавчины постепенно ликвидируются, что может объясняться излишним успехом.

Совместные исследования по пшенице, проводимые Индией и Непалом, включают идентификацию коллекций образцов ржавчины из Непала и Лаборатории DWR по исследованию ржавчины, расположенной в Флауэрдэйле, Шимла. Образцы листовой ржавчины, полученные из Непала, подтверждают схожесть с аналогичными индийскими образцами. Непал играет ключевую роль в исследовании грибка листовой ржавчины и основании эпидемиологии заболевания листовой ржавчины на субконтиненте, особенно в зоне северо-восточных равнин (Махато, 1996 г.; Шарма, 1997 г.; Найяр и др. 1996 г., Найяр и др. 1994 г.). Развитие листовой ржавчины в этом районе Индо-Гангской равнины впоследствии значительно повлияло на развитие листовой ржавчины в северо-западной части Индии (Нагараджан и Джоши, 1985 г.), а также повлекло за собой случаи появления ржавчины в Пакистане.

Внедрение в большом масштабе полукарликовых сортов пшеницы в Западной и Южной Азии в 1960-х гг. создало ситуацию, способствовавшую распространению патотипа жёлтой ржавчины на п-ове Индостан. Популяризация полукарликовых сортов и выделение гена Yr2 сделали возможным отслеживание «новых» вирулентностей, связанных с данными сортами. Первое сообщение о вирулентности Yr2 поступило в 1967 г. из Турции (Оскан и Прескотт, 1972 г.). Затем такие же сведения стали поступать из Ливана, Ирана, Афганистана, Пакистана и Индии (Шарма и др., 1972 г.) и, в конечном итоге, из Непала (Карки, 1996, личная переписка). Отслеживание последующего появления вирулентности Yr2 стало возможным благодаря новизне гена Yr2 в популяции-хозяине и международной сети сотрудничающих между собой питомников.

Выводы

Наблюдение за развитием заболевания составляет основу программ по контролю за заболеваниями и борьбе с вредителями. Сотрудничество на региональном и международном уровнях с одновременным обменом зародышевой плазмой и данными по заболеванию представляет особую значимость и обеспечивает ряд преимуществ. Благодаря своевременному началу работ по наблюдению за заболеванием, различные источники и виды устойчивости в настоящее время хорошо распознаются. Установлено, что некоторые из таких источников, отвечают за общую или долговременную устойчивость, и такие источники долговременной устойчивости стали основой запасов зародышевой плазмы для селекции устойчивости. Роль испытаний, проводящихся в разных географических зонах, и международное сотрудничество принесло свои плоды в селекции сортов, устойчивых к ржавчине. Большой вклад в такое сотрудничество и пользу из него извлекли Индийская национальная программа по пшенице и сотрудничающие между собой организации. С ростом потребности в продуктах питания возрастёт необходимость в экстенсивной и интенсивной кооперации. Индийская программа по пшенице занимает стратегическое положение в плане обеспечения себе ведущей роли в Южной Азии и других странах. Существует потребность в объединении национальных и международных усилий с целью проведения совместного скрининга, оценки и обмена зародышевой плазмой, наблюдениями за вирулентностью и продолжению обмена информацией.

Введение.

Интеллектуальный подход к защите растений от вредителей, включая насекомых и болезни, требует регулярного наблюдения за посевами злаковых для генерации информации с целью своевременного вмешательства и определения соответствующих методов, которые позволят смягчить отрицательное воздействие на безопасность сельскохозяйственных угодий и продовольственную безопасность. Качественно спроектированная система текущего контроля защиты растений от вредителей рассматривает биологию, поведение, свойства, характер изменений организмов и их влияние на окружающую среду. Сезонные вредители, присутствующие на разных уровнях каждый год в зерновых культурах и не мигрирующие на дальние расстояния, могут контролироваться в местном масштабе, например, фермерами. С другой стороны, миграция или распространение при транспортировании на длинные расстояния через регионы, международные границы, континенты требуют другого подхода, обеспечивающего общее представление проблемы. В обоих случаях, информация, собранная в данной области- основа мониторинговой системы контроля. Если информация предоставлена в реальном масштабе времени и имеется достаточная информация о вредителе, его взаимоотношениях в окружающей среде, то своевременное обнаружение позволит выиграть время для последующих спланированных ответных действий.

Линейная стеблевая ржавчина (возбудитель- грибок *Puccinia*) –самое опасное заболевание пшеницы. Использование генетических материалов с эффектом сопротивления снизило уровень поражения линейной стеблевой ржавчиной уже в середине 1990-х годов. Существенное ослабление, сбой резистентности злаковых произошли с появлением нового вида линейной стеблевой ржавчины- Юг-99, представляющего глобальную угрозу продовольственной безопасности. Юг-99 был впервые идентифицирован в Уганде в 1999г., после, его споры были обнаружены в Кении и Эфиопии (2004 г.), Емене и Судане (2006 г.), Иране (2007 г.). Споры линейной ржавчины, принесенные воздушными потоками за месяц до сбора урожая, может превратить здоровые посевы в спутанную стеблевую массу, вызывая прекращение развития зерен. Так как передвижение воздушных масс остановит невозможно, есть высокая вероятность , что Юг- 99 достигнет главных житниц Азии и других регионов, угрожая уничтожению одной трети всемирного объема запаса пшеницы с ежегодными потерями, составляющими 3 биллиона американских долларов. Кроме того, обеспокоенность вызывает изменение природы патогенного микроорганизма двумя новыми разновидностями , уже зарегистрированными в Кении. Одна из таких разновидностей, экспонируя верулентность к другому ключевому гену сопротивления (*Sr 24*), привела к эпидемии линейной стеблевой ржавчины зерновых в Кении в 2007 году. Потеря сопротивляемости этого гена значительно увеличила глобальную уязвимость зародышевой плазмы пшеницы, половина из которой считалась стойкой к Юг-99. Любая эффективная мониторинговая система должна включать информацию о развитии новых разновидностей линии дифференцирования Юг-99.

Условные обозначения
Иран 2007

Производство пшеницы (в тоннах)

Иллюстрация 1. Распространение Юг-99 от восточной Африки к юго-западной Азии (1999-2008 г.г.).

(источник: CIMMYT)

Наблюдение и система прослеживания.

Чтобы бороться с потенциальной угрозой Юг-99, пшеничные сорта с длительной стойкостью к линейной, стеблевой и другим видам ржавчины должны быть промышленно улучшены и распределены по фермерским хозяйствам, но это займет несколько лет. Между тем, бдительный мониторинг за коэффициентом зараженности и природой развития ржавчины, обязывает страны, куда Юг-99 еще не проник и те, где он уже адаптировался. Суровая реальность заключается в том, что мы не знаем как далеко Юг-99 мигрировал. Не существует пока объективных структур, которые обнаруживали бы распределение и совместное использование, относительно среды действия, степени воздействия, генетического построения инфекции ржавчины в странах с невысоким уровнем экономического развития. Нет никакого единого источника информации о пространственном и временном распределении зерновых. Нехватка подобных знаний препятствует разработке конкретных решений и принятию соответствующих национальных и международных стратегий, инвестиций для защитных мер, развитию семенных баз, научных исследований патогенной среды ржавчины. Учитывая недостаточность таких знаний, как отслеживающий и контролирующий орган, Глобальная Система Мониторинга Злаковой Ржавчины (GCRMS), учреждена как способ проведения координированной защиты против Юг-99, чтобы идентифицировать те области, которые являются в настоящее время зоной риска, и контролировать распространение ЮГ-99. Информация, сгенерированная GCRMS, помогает исследователям в оценке и альтернативных решений.

Уровень технического обслуживания на местах

1. инспектор осматривает ареалы посевов
2. собирает и заполняет информационные формы, используемые GPS
3. возвращается в офис отправляет результаты осмотра по e-mail на NFP

Уровень национального обслуживания

4. <i>NFP собирает, обрабатывает и архивирует данные</i> 5. <i>отсылает информацию по e-mail на IFP</i>
Уровень международного обслуживания
6. <i>IFP через FAO HQ собирают результаты исследований в централизованную базу данных</i> 7. <i>информация анализируется GIS</i> 8. <i>использование модели траектории для оценки движения спор ржавчины</i> 9. <i>готовится и распределяется через e-mail</i>
Общее информирование
10. <i>создаются отчеты о Юг-99, траектории заражения и другие данные на web-site</i>

Иллюстрация 2. Совместный контроль и информационная сеть.

GCRMS получает возможность присоединиться к компьютерной и операционной сети северной Африки и регионов Сахары, Ближнего Востока, Азии, обеспечивая информацией относительно распространения, видов, характера злаковой ржавчины, разнообразия ее генов сопротивления. В центре GCRMS будут гео- ссылаемые данные относительно инфицированных злаков за результатами непосредственных наблюдений на местах и опросов фермерских хозяйств, включая сбор пробных образцов злаковой ржавчины для бактериального инкубатора.

GCRMS будет основан на базе оперативной модели и потока данных информационной системы Пустыни ФАО. Специализированный Международный Центральный Фокус (IFR) будет установлен в Штаб-квартире Организации ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства (FAO) в Риме для функционирования и поддержания системы. Национальные группы специалистов научно-исследовательских институтов будут отвечать за контроль полевых посевов и сбор гео-посылаемых данных (используя универсальную систему) на стандартизированную форму (смотри последнюю страницу). Укомплектованные формы будут переданы в GCRMS IFP в Риме. Образцы будут направляться передовым научно-исследовательским институтам для анализа вида, передавая результаты в Рим.

Полевые и экологические данные будут использоваться в рамках географической информационной системы (GIS), где пройдут анализ и архивирование IFP. Географическая информационная система будет состоять из двух гео-ссылаемых компонентов- централизованной базы данных и карт. Отдельные модули, типа модели траектории, которая оценивает перемещение Юг-99, и другие базы данных, сгенерированные CIMMYT и ICARDA, будут включены в географическую интернациональную систему. Существенные успехи делались пока обоими международными центрами. GCRMS позволит IFR иметь обновленный краткий обзор ситуации и помогать в подготовке эффективных информационных результатов в соответствии с потребностями партнеров.

Элементы успеха.

Если GCRMS должен стать успешной и эффективной информационной системой, рассмотрим три ключевых элемента.

(1) ***Совместные базы данных требуют идентификации и партнерской поддержки.***

Установление информационных сетей между странами, рассеянных поперек нескольких континентов, разных культур и экономических уровней, не произойдет за ночь. Требуется более трех десятилетий чтобы контрольная система ФАО стала надежной и оперативной. Поэтому нужно признать, что строгий государственный

отбор в Национальный Фокус представляет высококвалифицированных , энергичных специалистов, умеющих эффективно работать с другими. IFR (Международный Центральный Фокус) проводит регулярные посещения стран, чтобы обеспечить техническую базу и обучение на местах, гарантировать качественно функционирующую сеть сбора данных, их регистрации, передачи и анализа.

(2) *Страны должны поддерживать развитие общей базы данных .*

Поскольку Юг-99 – распространяющийся вредитель, важно понимать глобальную проблему и потенциальную угрозу заражения. Это может быть достигнуто только тогда, когда страны предпримут совместные меры по его обнаружению, руководствуясь базой IFR в Риме. Для того, чтобы это стало реальностью, нужно укреплять деловые отношения между IFR, NFP и сельскохозяйственными угодьями. Если страна не желает совместно использовать ее данные, будут возникать значительные пробелы в глобальном изображении, затрагивая решения, политику и общую картину исследования на региональных, национальных и глобальных уровнях.

(3) *Конфиденциальные данные должны регулироваться соответствующими мерами.*

Есть риск, что некоторые страны могут отказаться от совместного использования их данных, считая такую информацию секретной. Чтобы решить подобные вопросы, определенные процедуры и методологии могут быть разработаны в пределах GCRMS так, чтобы первичная информация не была перераспределена третьими лицами. Договоренности о конфиденциальности могут быть рассмотрены по мере их необходимости.

Точки обсуждения.

В течении обсуждения предложено.чтобы его участники указали какие информационные продукты необходимы в их странах, кто нуждается в подобной информации, какие форматы требуются и как часто, каким образом подобной информацией может обеспечить FAO.

Заключение.

Юг-99 – серьезная угроза глобальной продовольственной безопасности, которая не должна быть недооценена. Есть потребность в коллективной борьбе против болезни, но это требует, чтобы все партнеры-страны с незначительными заражениями и страны в зонах риска, национальные службы защиты от растительных вредителей и исследовательские институты, исследователи, международные центры и организации, инвесторы, были активно вовлечены в сотрудничество. Никто не извлечет пользу, изолируясь, и все извлекут пользу, сотрудничая, и вместе используя информацию.

Форма для глобального мониторинга ржавчины злаковых

Имя инспектора: _____
 Страна/ учреждение: _____
 Дата осмотра(день, месяц, год): ____/____/____
 Местонахождение: _____

Широта (градусов): N

			.						
--	--	--	---	--	--	--	--	--	--

Долгота (градусов): E

				.					
--	--	--	--	---	--	--	--	--	--

Высота: _____ метров

Урожай ☐ Проба ☐ Сорняк ☐ Обочина ☐

Урожай: **Пшеница хлебная** **Пшеница твердая** **Ячмень** **Тритикале**
Овес **Другое**
 (гибрид ржи и пшеницы)

Стадии роста: **Проращивание** **Цветение** **Зрелость**

Размеры посевных зон: _____ га Разновидность: _____

Болезнь	Линейная стеблевая ржавчина	Листовая ржавчина	Желтая ржавчина	нет
Интенсивность (-низкая +высокая)	- +	- +	- +	
Жесткость (%)				

Собраны пробы линейной ржавчины: Y N

Типовой ID номер: _____

Комментарии / наблюдения

Выведение долговременной устойчивости с помощью маркерной и челночной селекции и стратегии пирамидизации генов

К. В. Прабху

Отдел генетики, Индийский научно-исследовательский сельскохозяйственный институт, Нью-Дели
 kvinodprabhu@rediffmail.com

В данной теме затронуты четыре важных явления: (а) маркерная селекция, (б) челночная селекция (в) пирамидизация генов (г) долговременная устойчивость. Это

общие принципы интеграции современных методов биотехнологии в традиционную селекцию растений, нацеленную на получение и развитие устойчивых к заболеваниям сортов.

1. Маркерная селекция

В последние полтора десятилетия селекция растений приняла на вооружение современные методы биотехнологии, делающие данный процесс более точным, чем когда бы то ни было. Такая технология получила общее название «маркерной селекции». Маркерная селекция – это селекция, направленная на получение желаемой экспрессии признака, например, устойчивости к заболеванию, без непосредственного измерения экспрессии такого признака. Молекулярные маркеры – это не что иное как простые участки ДНК в организме, расположенные в одной и той же хромосоме (т.е. место расположения ДНК в организме) и находящиеся в тесной связи с генами устойчивости или участками хромосом (называющимися также «локусы количественных признаков, или ЛКП»). Они связаны таким образом, что если маркеры, связанные с каким-то определённым геном устойчивости, выявлены на общих образцах ДНК растения, то появляется уверенность в том, что растение будет также устойчивым к заболеванию. Таким образом, данная технология селекции растений не зависит от окружающей среды.

Единственным ограничителем в таком случае является необходимость соблюдения особой точности, с которой должна создаваться связь между молекулярными маркерами и генами устойчивости к заболеванию. Например, распространение всякого заболевания зависит от климатических условий, благоприятных для организмов, вызывающих заболевание (патогена), инфекционной нагрузки (воздух, вода, земля или семя) и от наличия чувствительного к заболеванию растения-хозяина. В случае отсутствия какого-либо из перечисленных факторов заболевание не возникает.

Селекционеры уже долгое время работают над задействованием свойства унаследованной устойчивости в видах растений с целью выведения сорта, устойчивого к заболеванию. Перекрещивание растения - устойчивого донора с чувствительными сортами - проводится для переноса признака устойчивости в чувствительный сорт. Это достигается в результате продолжительной селекции устойчивых к заболеванию растений в популяции потомства данной злаковой культуры. Однако по причине зависимости от множества факторов, включая факторы, не поддающиеся контролю и связанные с климатическими условиями, а также в силу недостаточного количества инокулята патогена штаммов, проявляющих особую вирулентность в большинстве сортов (такие штаммы также известны как расы, обладающие свойством дифференциального инфицирования устойчивости растения-хозяина), невозможно с точностью и уверенностью утверждать, что выбранное потомство устойчивых растений на самом деле обладает устойчивостью благодаря наличию в нём устойчивых генов. Это вполне вероятно, поскольку в силу вышеуказанных причин случившееся заболевание могло просто не затронуть все растения, и, следовательно, чувствительные на самом деле растения можно легко принять за устойчивые.

Маркерная селекция исключает такую неоднозначность, связанную с селекцией устойчивости к заболеванию и зависящую от климатических условий. Это объясняется способностью молекулярных маркеров определять устойчивость в растении даже тогда, когда растение не подвергается воздействию патогенов или его рас.

2. Челночная селекция

Суть челночной селекции состоит в выращивании двух последовательных посевов сельскохозяйственных культур в год: например, первый – в летний сезон в местности с

благоприятными для выращивания климатическими условиями, после чего в зимний период растения переносят на другое место с погодными условиями, благоприятными для выращивания растений с целью селекции желаемого типа растения, соответствующего либо обоим видам климатических условий, либо каждому в отдельности. Селекция подобного рода производится в два раза быстрее, предоставляя в то же время дополнительную возможность селекции в двух географических местностях и анализ растения и его потомства, выбранного для зафиксирования нужного признака с целью проявления устойчивости к заболеванию в разных местностях. Это представляется особенно полезным при селекции растений для устойчивости к заболеваниям.

Челночная селекция практикуется на протяжении более семидесяти лет для выведения устойчивости пшеницы к листовой, стеблевой и жёлтой ржавчине между Индийским научно-исследовательским сельскохозяйственным институтом в Нью-Дели и его региональными станциями, расположенными на севере Гималайской долины и долины Спити и Лахаул и в горах Нилгири на юге.

Такая методика способствует развитию потомства в сочетании с анализом селекций против рас ржавчины в регионах, отличающихся чрезвычайным многообразием условий окружающей среды. Это похоже на испытание автотранспортного средства на равнинной и в гористой местностях с целью испытания выносливости. Ныне покойным д-ром Б. П. Палом в 1930-х гг. было основано несколько селекционных станций пшеницы, таких как в Шимле в шт. Химачал Прадеш, Индоре в шт. Мадхья Прадеш и Веллингтоне в шт. Тамилнаду, наглядно продемонстрировавших преимущества селекции, проводимой в условиях двух времён года и в двух или более географических местностях со свойственным им климатическим и экологическим разнообразием, а также спектром заболеваний с целью идентификации наиболее эффективного потомства, которое, как предполагается, обладает признаками, отвечающими всему разнообразию условий при селекции оптимальных характеристик для каждой местности.

Ожидалось, что в результате такой селекции будут выведены сорта, устойчивые в разных агроэкологических условиях, что характерно для сельскохозяйственной изменчивости в такой стране, как Индия. Тем не менее, в ходе выполнения проекта по челночной селекции, охватывавшего две разные экспериментальные станции в Мексике, целью которых было одновременное выращивание новых сортов пшеницы, д-ром Норманом Борлагом, возглавлявшим группу СИММИТ и состоявшую из 30 исследователей пшеницы, было дано принципиальное определение челночной селекции как полезной стратегии на пути к быстрому и предсказуемому выведению сортов, адаптированных к разным условиям. Такими двумя станциями стали Сиудад-Обрегон, расположенная в сухой местности на уровне моря на северо-западе Мексики, и Толука, находившаяся в прохладном высокогорном климате недалеко от Мехико. Поскольку долгота дня, температурный режим, заболевания и другие условия между ними резко отличались, линии пшеницы, выращиваемые на обеих станциях, должны были адаптироваться к разнообразным условиям окружающей среды. Дополнительное преимущество состояло в том, что быстрое перемещение селекционных семян из одной местности в другую позволяло получать два потомства в год, снижая тем самым вдвое время, требующееся для выращивания нового сорта.

3. Пирамидизация гена

Термин «пирамидизация гена» в селекции растений используется для обозначения процесса внедрения в один и тот же сорт более чем одного гена какого-либо признака с целью увеличения экспрессии такого признака. Как правило, это два или иногда

четыре гена, внедряемых в один сорт, т.е., например, наличие двух генов Sr25 и Sr26, устойчивых к стеблевой ржавчине пшеницы. В смысле эволюции, если имеется один ген, отвечающий за устойчивость сорта и способный защитить данный сорт от существующих штаммов или рас стеблевой ржавчины в регионе, в среднем в течение 4-5 лет популяция патогена выбрасывает новые генетические разновидности в результате произвольного процесса генетической мутации, который может содействовать развитию способности преодоления устойчивости данного гена. Однако при внедрении обоих генов Sr в один и тот же сорт частота изменчивостей в штамме, способном к мутации, которая может повлиять на устойчивость обоих этих генов, очень невелика по сравнению с частотой при наличии лишь одного гена. На сопротивление пирамидальной устойчивости более одного гена изменчивостям патогена требуется гораздо больше времени.

Строго говоря, каждый ген можно отличать от другого при наличии одной или более рас патогена стеблевой ржавчины, которые могут успешно преодолевать генетическую устойчивость одного из двух генов, и другой расы / набора рас, способной преодолеть устойчивость обоих генов. Однако чаще всего имеется сравнительно небольшое количество генов Sr, для которых наличие расы, по-разному реагирующей с такими генами, совсем необязательно. Если бы не этот недостаток патогенных рас, способный выделить гены Sr (упоминающиеся под названием дифференциальных рас), определение наличия какого-либо гена в комбинациях с селекционными популяциями традиционными способами не представлялось бы возможным. Здесь роль молекулярных маркеров приобретает особую значимость в силу того, что молекулярные маркеры, связанные с каждым из пирамидальных генов в отдельности, могут существенно помочь селекционерам, в зависимости от их потребностей, в отборе разных комбинаций в потомстве растений, выведенном путём скрещивания сортов, чувствительных к заболеванию, с линиями доноров, несущих в себе устойчивые к заболеванию гены и с соблюдением точности без зависимости от экспрессии устойчивости или скрининга устойчивости.

4. Долговременная устойчивость

В конце 1970-х гг феномен реакции устойчивости к заболеванию отмечался в нескольких сортах, демонстрирующих высокий уровень стойкости к заболеванию, начиная от сверхчувствительной устойчивости и заканчивая незначительной тяжестью протекания заболевания по отношению ко всем расам патогена, даже после продолжительного выращивания сорта на больших посевных площадях. Ныне покойным д-ром Роем Джонсоном из Великобритании был описан один из таких случаев, получивших название «долговременной устойчивости», на примере пшеницы сорта, выведенного против жёлтой ржавчины. Долговременная устойчивость – это относительный потенциал сорта, культивируемого на протяжении значительного времени (превышающего пятилетний срок) и выращиваемого одновременно на больших площадях. В генетическом смысле за данным явлением скрывается тот факт, что имеется либо количественная устойчивость, зависящая от ЛКП, либо комбинация более одного особого гена.

Интегрированный подход к маркерной и челночной селекции и пирамидизации гена на предмет долговременной устойчивости к Ug99

Как пояснялось выше, существуют несколько генов, устойчивых к стеблевой ржавчине (гены Sr), такие как Sr22, Sr25, Sr26, Sr27, Sr32 и т.д., проявляющие устойчивость к вирулентности Ug99. Требуется задействование «помеченных» молекулярных маркеров как связанных с такими генами с целью селекции в популяциях, выведенных методом скрещивания высокоурожайных чувствительных сортов с различными донорами

устойчивости, несущими данные гены. Кроме того, могут использоваться молекулярные маркеры, типичные и противоположные в их экспрессии маркерам растения-донора с целью селекции требующихся признаков сорта путём возвратного скрещивания с помощью молекулярного маркера. Среди данных растений те, которые были селекционированы на основании маркеров и обладающие устойчивостью, могут распространяться в разных регионах для проверки их устойчивости к стеблевой ржавчине в целом и к Ug99 в частности, а также с целью идентификации комбинаций пирамидизированных линий в селекционных стабильных растениях для переноса долговременной устойчивости путём сохранения основных высокопродуктивных характеристик исходного сорта. Такая стратегия успешно применялась в борьбе против листовой ржавчины пшеницы, пятнистости листьев риса и, вероятно, является одним из самых надёжных методов минимизации угрозы инфекции Ug99.

Quarantine Strategy, Sensitization and Awareness Generation Стратегия карантина, ознакомительность и создание осведомлённости

Р.К. Кхетерпал и В. Целия

Отдел карантина растений, Национальное бюро генетических ресурсов растений
Нью Дели -110012, Индия

Производству пшеницы во всём мире угрожает пшеничная ржавчина Ug99 *Puccinia graminis tritici*, опасный возбудитель заболевания стебля, или чёрная ржавчина злаков. Эта угроза очень реальна и неопровержима. В течении всей мировой истории *P. graminis tritici* приносил большие потери производству пшеницы. Огромное значение приобретает своевременное нахождение распространения переносимого по воздуху Ug99 (также известного как раса ТТКС), так как пшеница, которую выращивают в основном на миграционном пути, т.е. от Восточной Африки до Северной Африки и затем через Арабский Пиренейский полуостров и до Ближнего Востока и Азии очень уязвима этому заболеванию, при том, среда в этих регионах способствует развитию этой болезни. Срочно необходимо принять меры на региональном уровне по предотвращению проникновения Ug99 в регион SAARC, так же Индию. В стратегию по карантину, направленную на борьбу с этой угрозой должны войти мониторинг и слежение, быстрое, чувствительное и энергичное обнаружение, ведущее к раннему предупреждению и быстрой реакции и минимизации воздействия на окружающую среду.

Натренированный глаз хлеборобцев может легко увидеть чёрную ржавчину, которая видна как [спорообразующая](#) ссадина на стебле, листьях и осях заразившейся пшеницы. Расу Ug99 можно обнаружить питомником-ловушкой, посаженным в нужном районе. В питомнике сажают дифференциальные линии специфических комбинаций устойчивых к ржавлению генов. Затем очень важно провести анализ расы и генетическую диверсификацию на молекулярном уровне. Сейчас имеются метки Простого Последовательного Повторения (ППП), которые указывают, что гроздь расы Ug99 отличается от известных всех других рас.

С целью быстрого обнаружения, сдерживания и искоренения необходимо проводить регулярное обследование с использованием пространственно-временной и эволюционной динамики пшеничной ржавчины, соответствующей международным стандартам фитосанитарных мер. Директивы по обзорному наблюдению предусмотренные Международной конвенцией по карантину и защите растений должны быть начаты с целью раннего обнаружения и искоренения. Так же необходимо определить Стандарты Протокола Операций (SOPs). Очень важно вести эффективное наблюдение за всей посевной площадью. При том срочно необходимо идентифицировать площади потенциального риска, где ожидается первое проникновение идущее или по пути *Puccinia* или посредством других средств. Обзор в не сезона покажет выживает ли раса на других питающих паразитов хозяинах. Очень полезной является Географическая Информационная Система (GIS) в отслеживании и контроле патогена.

На национальном уровне, очень важно усилить способности патологии расы со специальной ссылкой на молекулярную диагностику и установить диагностическую лабораторию по ржавчине, которая будет способствовать раннему обнаружению, контролю и искоренению. После сбора проб ржавения стебля их можно направить в

лабораторию для верификации расы. Национальная диагностическая лаборатория должна быть определена Стандартами Протокола Операций (SOPs). Тренировка патологов и рабочих на полях поможет им определить патоген. Нам необходимо упрочить инфраструктурные условия и диагностические способности карантинного персонала на всех точках ввоза..

Нам необходимо обеспечить, чтобы у нас была система мониторинга появления и наличия в регионе патогенной расы Ug99. Исследователям и чиновникам государственного сельскохозяйственного отдела необходимо пройти специальные курсы по мониторингу продвижения Ug99 со специальным акцентом на обнаружении. Необходимо советовать фермерам опрыскивать пшеницу фунгицидами такими как Пропоконазол, как только они заметят пустулы ржавчины на пшенице.

Хотя Ug99 не переносится с семенами, но нельзя игнорировать возможность заражения ею растительным мусором или семяным контаминантом во время обмена пшеничным зерном для потребления/гермоплазмы. Поэтому карантинная процедура импортируемой пшеницы является важной, чтобы не допустить заражения через растительные органические остатки. В случае больших партий пшеницы необходимо разработать метод проверки одной партии, обусловливанием подходящих статистических процедур для обеспечения отсутствия Ug99.

В Индии разрешается импорт пшеницы только для потребления или для исследовательских целей, но не для посева. Во время карантинной процедуры необходимо контролировать массу органических остатков, во избежание даже отдалённой возможности заражения Ug99. Уганда, Эфиопия, Кения, Йеменская Республика и Иран от куда происходит Ug99 импортируют а не экспортируют пшеницу. Однако, так как в Иране замечена раса Ug99 и он граничит с Пакистаном, то необходимо контролировать распространение Ug99 в Пакистан и после этого в соседние страны, такие как Индия.

Необходимо объяснить опасность Ug99 угрожающую нашему сельскому хозяйству обществу, в частности фермерам, выращивающим пшеницу. Нужно поощрять фермеров выращивать сорта *Sr25* и *Sr26* пшеницы, которая устойчива Ug99. И не только это, для таможенных, карантинных, государственных, сельскохозяйственных чиновников, сельскохозяйственных университетов нужно организовывать семинары, позволяющие им узнать об этой угрозе. Бюллетени о Ug99 и о её последствиях нужно публиковать на местных языках и распространять между фермерами посредством интенсивного тиражного механизма. Аудио-визуальные средства такие как радио и ТВ тоже нужно использовать, чтобы создать общественную осведомлённость. Очень важны ознакомление и осознание производителей, исследователей и политиков в регионе SAARC. Мы должны быть готовы во время сообщать и обмениваться данными в регионе, когда мы обнаружим новую вирулентность или неожиданную реакцию. .

Странам SAARC нужна сеть обзора; инспектирования; и контроля над Ug99 в этом регионе и они должны выработать общую стратегию по контролю и искоренению Ug99. Это призывает к созданию региональной стратегии быстрого реагирования для уничтожения появившейся заразы. И на конец, очень важно в ликвидации угрозы и изоляции региона от разорения делиться информацией и вовремя сообщать её, вести совместные исследования в местах эпидемиологии и так же гармонизировать карантинные процедуры.

Профессиональное обучение, развитие людских ресурсов и открытие региональных лабораторий по выявлению дисперсии

Амор Яхьяоу¹, Зевди Бишо², Петр Козина³

¹Координатор Программы по улучшению качества пшеницы, ИКАРДА (Международный центр сельскохозяйственных исследований в засушливых районах) – СИММИТ (Международный центр по улучшению кукурузы и пшеницы);

²И.о. Отдела по развитию производственных мощностей, ИКАРДА;

³ Координатор по обмену информацией и наращиванию потенциала, СИММИТ.

Повышение квалификации является неотъемлемой частью тематических исследований, проводимых ИКАРДА и СИММИТ с целью эффективного применения последних достижений сельскохозяйственных наук и технологий. Программы по развитию людских ресурсов поддерживают и укрепляют национальные сельскохозяйственные программы, предоставляя возможность для профобразования, удовлетворяющего потребности широкого спектра сотрудничающих между собой исследовательских институтов и задач первостепенной важности на национальном уровне. Они включают в себя образование в учебных заведениях и неформальное образование, получаемое на практических краткосрочных курсах в головных организациях как для прохождения надлежащей практики на селекционных участках специализированных растений, так и в целях содействия сотрудничеству, обмену идеями и опытом среди учёных Национальной системы сельскохозяйственных исследований (НССХИ), ИРКАДА, СИММИТ и Институтов перспективных исследований (ИПИ).

ИРКАДА, СИММИТ и другие Институты перспективных исследований (ИПИ) проводят регулярные курсы обучения на различные темы для применения в НССХИ, в частности, в Центральной и Западной Азии, Северной Африке и на Кавказе (ЦЗАСА), Южной Азии и Латинской Америке, включая 36 стран, крупнейших производителей пшеницы, и стран, где производство пшеницы играет важную роль в экономике государств (табл. 1). В регион ЦЗАСА входят некоторые страны (Афганистан, Ирак, Эритрея, Эфиопия, Алжир), в которых до сих пор чувствуется острая нехватка высококвалифицированного научного персонала, способного вносить действенный вклад в национальные исследовательские программы, из чего следует, что горстка квалифицированных специалистов вынуждена работать в самых разнообразных областях исследований.

ИРКАДА и СИММИТ регулярно проводят курсы повышения квалификации, организуемые при своих главных организациях и в странах, где проводятся национальные или региональные курсы профессионального обучения. Институты перспективных исследований, такие, как Университет шт. Миннесота, при сотрудничестве с СИММИТ, проводят курсы стипендиатов Борлога. Институт селекции растений (ИСП) при Университете Сиднея организует специальные курсы для участников из развивающихся стран. Фонд КРОУФОРД (Австралия) оказывал поддержку и проводил курсы в регионе ЦВАСА. Другие ИПИ (Австралия, Канада, Дания, Иран, Марокко, США) регулярно или время от времени организуют курсы профобучения и / или курсы для выпускников ВУЗов. Регулярные курсы проводятся по следующим направлениям: 1) курсы по улучшению качества пшеницы с уделением особого внимания селекции стойких сортов; 2) краткосрочные курсы по селекции, патологии, качеству, агрономии, биометрии, ГИС и информационным технологиям; 3) скоординированная программа для приглашённых учёных, нацеленная на управление заболеваниями и селекцию болезнеустойчивых сортов; краткосрочные мероприятия, такие, как выездные семинары / практикумы и курсы, проводящиеся

непосредственно в стране проживания участников. В таблице № 2 приведены примеры различных курсов, организованных в 2007 г. ИКАРДА и СИММИТ, а также указан курс, проведенный за прошедший период 2008 г. с уделением особого внимания заболеванию, известному под кодом «Ug99», и селекции болезнеустойчивых сортов. Та же самая тенденция, только в большей степени ориентированная на селекцию болезнеустойчивых сортов и контроль за Ug99, характерна для учебных курсов в 2008 г.

Развитие людских ресурсов

В соответствии с уровнями образования и программами НССХИ, учёным НССХИ предлагаются различные модели обучения. Долгосрочные курсы организуются в течение полного цикла вегетационного периода для того чтобы исследовательский технический персонал имел возможность пройти обучение в различных областях (селекция, патология, агрономия, семеноводство, защита растений) продолжительностью от 6 до 12 месяцев. Такой вид долго- и среднесрочного обучения завоевал большую популярность среди учёных НССХИ и позволил обучить большое количество исследовательского технического персонала, отдельные представители которого смогли продолжить высшее образование и возглавить большинство важнейших исследовательских центров. Такое основное обучение включало в себя обучение по селекции пшеницы, агрономии, патологии, физиологии и другим дисциплинам, включая обучение иностранному языку, в результате чего все, кто был зачислен в программы, предназначенные для выпускников ВУЗов, получили отличную техническую основу. Основным недостатком такого вида обучения явилось то, что эти курсы могли посещать только те, кто изучает английский язык. Кроме того, в силу ограниченных финансовых возможностей некоторые участники были вынуждены сократить период обучения. Для преодоления такого рода затруднений отдельным учёным НССХИ было предложено выборочное индивидуальное обучение, которое позволило продолжить образование в выбранной ими области. Групповое краткосрочное обучение было организовано на различные темы, преимущественно, по вопросам селекции, биотехнологиям, информационным технологиям, защите растений и ГИС (табл. 2). Данные курсы проводились на региональных уровнях странами-участницами НССХИ или на государственном уровне для особых групп обучаемых. Обучающие курсы в полевых условиях также были организованы на региональных уровнях и в головных организациях. Обучение предназначалось для младших научных сотрудников (обладателей научных степеней бакалавров и магистров естественных наук). Финансовая поддержка таких курсов осуществлялась специальными фондами, такими, как Японское агентство по международному сотрудничеству, Арабский фонд, Организация по продовольствию и сельскому хозяйству и др. Учебный курс на получение степени проводился для выпускников ВУЗов, зарегистрированных при различных университетах и проводящих свои исследования в лабораториях Центра и экспериментальных областях. Такое обучение явилось особенно ценным для представителей региона ЦВАСА, в частности, для стран, где исследовательские возможности не отвечают потребностям продвинутых исследований в области генетики, биотехнологии, защиты растений и селекции. На протяжении последних 4 лет (2004-2008 гг.) 14 студентов, обладателей научных степеней бакалавров и магистров естественных наук, проводили свои исследования в ИРКАДА. Учёные НССХИ, в частности, кандидаты наук, часто посещают исследовательские центры в качестве приглашённых специалистов и сотрудничают с коллегами в различных исследовательских областях. Результатом такого сотрудничества являются научные публикации в соответствующих журналах и развитие совместных исследовательских проектов.

Языки обучения

Знание языка играет важную роль в успехе или провале программы обучения. Чаще всего студенты находятся на разных уровнях владения языком. Для обучения вспомогательного технического персонала ИКАРДА предпринимает усилия для организации краткосрочных региональных курсов, проводящихся на самых распространённых языках данного региона. Арабский язык чрезвычайно популярен на Среднем Востоке и в ряде стран Западной Азии, где свыше десятка стран могли бы проводить на нём обучение, в то время как испанский мог бы стать самым подходящим языком для стран Латинской Америки, в отличие от английского, доступного для понимания представителям семи стран, расположенных большей частью в Восточной Африке и Южной Азии. Следовательно, формирование целевых групп для профобучения представляется чрезвычайно важной задачей для успеха программы обучения. Английский язык в большей мере отвечает требованиям обучения обладателей научных степеней бакалавров и магистров естественных наук НССХИ, по сравнению с французским, на котором разговаривают лишь 14% учёных НССХИ. Интенсивные курсы английского были организованы для региона стран СНГ, где широко распространён русский язык.

Научно-исследовательские центры

Успех курса обучения в любой научной области зависит от условий, созданных для проведения исследований в НССХИ, с тем чтобы на практике применять полученные знания и технологии. Из таблицы № 3 видно, что большинство стран обладают отличными биотехнологическими лабораториями, поэтому организация обучения младших научных сотрудников управлением такими лабораториями представляется для НССХИ важнейшей задачей. Обучение селекции растений актуально для стран с экспериментальными станциями, оснащёнными соответствующим оборудованием для проведения опытов, следовательно, курсы, планируемые для проведения внутри страны, часто проводятся при сотрудничестве с НССХИ с тем чтобы обучить как можно большее количество желающих. Модернизация научно-исследовательских центров внесёт большой вклад в развитие национальных исследовательских программ в плане выполнения ими своих обязанностей по развитию науки.

В виду серьёзной угрозы заболевания Ug99 для мирового производства пшеницы и тяжёлых последствий для мировой продовольственной безопасности, лауреат Нобелевский премии Д-р Норман Борлаг выступил с инициативой по преодолению заболевания пшеничной ржавчины в глобальном масштабе, претворять в жизнь которую будут СИММИТ и ИРКАДА.

После основания ГРИ в 2005 г. ИКРАДА и СИММИТ начали интенсивное средне- и краткосрочное обучение по селекции болезнеустойчивых растений с уделением особого внимания устойчивому сопротивлению; отбору линий пшеницы в горячих точках, поражённых Ug99 в Кении (Нджоро) и Эфиопии (Кулумса, Дебра Зейт); эпидемиологии пшеничной ржавчины, концентрируясь на контроле и выделении болезнетворных бактерий ржавчины пшеничного стебля в странах повышенного риска. Целью экстренных мер в районе ЦВАСА, предпринятых ИРКАДА и СИММИТ, и при поддержке проекта Корнелла, ПСО, ЮСАИД, Сельского хозяйства Канады, ИКАР, Арабского фонда, ИФАД являются: 1) содействие национальным программам развития эффективных и длительных систем контроля путём пропаганды, координации и поддержки проводимой политики; 2) повышение усилий по селекции высокоустойчивых сортов; 3) быстрая диссеминация семян; 4) помощь учёных НССХИ в изучении угрозы Ug99.

Таблица 1. Страны-производители пшеницы в Африке, Азии и Латинской Америке

Регионы	Кол-во стран	Страны-производители пшеницы
Северная Америка	4	Морокко, Алжир, Тунис, Ливия
Долина Нила и Красное море (включая Восточную Африку и Аравийский п-ов)	7	Египет, Судан, Эфиопия, Йемен, Эритрея, Саудовская Аравия, Оман
Западная Азия	8	Сирия, Иордания, Ливан, Турция, Иран, Ирак, Пакистан, Афганистан
Центральная Азия и Кавказ	8	Армения, Грузия, Азербайджан, Туркменистан, Таджикистан, Узбекистан, Кыргызстан, Казахстан
Южная Азия	4	Индия, Китай, Непал, Бангладеш
Латинская Америка	5	Аргентина, Бразилия, Чили, Мексика, Уругвай
36		

Таблица 2: Примеры курсов обучения, проведённых ИРКАДА и СИММИТ в 2007 г.

Проведённый курс	Число участников / страна проведения курса	Период
Улучшение качества зерновых культур	19 чел. / Афганистан, Египет, Эритрея, Эфиопия, Ливан, Морокко, Судан, Сирия, Йемен	Алеппо, Сирия 22 апреля-3 мая 2007 г.
Управление сортами и контроль качества	11 чел. / Ирак, Иордания, Палестина, Пакистан, Оман, Сирия, Йемен	Алеппо, Сирия 6-17 мая 2007 г.
Управление генбанками для сбора зародышевой плазмы	8 чел. / Египет, Ирак, Катар, Пакистан, Сирия, Таджикистан, Тунис	Алеппо, Сирия 6-10 мая 2007 г.
Интегрированное управление заболеваниями зерновых культур и насекомыми-вредителями в регионе ЦВАСА	12 чел. / Египет, Эфиопия, Ливия, Палестина, Судан, Тунис, Йемен	Алеппо, Сирия 22 апреля-22 мая 2007 г.
Система земледелия и комплексные методы борьбы с вредителями	12 чел. / Афганистан, Сирия	Алеппо, Сирия 13-24 мая 2007 г.
Новые разработки и анализ экспериментов	13 чел. / Эритрея, Ливан, Иордания, Ирак, Палестина, Сирия, Судан	Алеппо, Сирия 5-16 августа 2007 г.
Практикум по улучшению качества и селекции пшеницы	22 чел. / Иран	Дезфул, Иран April 11-21, 07
Улучшение качества и сопротивление заболеваниям	22 чел. / Алжир, Мали, Морокко, Тунис	Тунис, Тунис 22 апреля-3 мая 2007г.
Улучшение качества пшеницы и производство семян	30 чел. / Египет, Эфиопия, Индия, Малави, Нигерия, Судан, Турция, Танзания, Уганда, Йемен, Зимбабве	Кулумса, Эфиопия 24 сентября-5 октября 2007 г.
Теоретические и практические	16 чел. / Эфиопия	Бахир Дар,

аспеты улучшения качества пшеницы		Эфиопия
Улучшение схемы фермерского производства семян и возрождение неформальной поставки семян	27 чел. / Эфиопия	16-30 июля 2007 г. 12-15 февраля 2007 г.
Анализ методов проведения экспериментов	21 чел. / Алжир	Алжир, Алжир 25 февраля-8 марта 2007 г.
Сбыт и продажа семян	15 чел. / Афганистан, Азербайджан, Иран, Казахстан, Кыргызстан, Пакистан, Таджикистан, Турция, Узбекистан	Стамбул, Турция 25-29 июня 2007 г.
Международный передвижной семинар по улучшению качества озимой пшеницы	24 чел. / Казахстан	Казахстан 8-13 июля 2008 г.
Координационная программа для приглашённых учёных: контроль «пшеничной ржавчины» и селекция высокоустойчивых сортов пшеницы	5 чел. / Кения (2), Непал (2), Индия (1)	СИММИТ, Мексика 3 недели – 2 месяца
Приглашение учёных	10 чел. / Израиль, Китай, Корея (2), Тунис, Сирия, Казахстан, ЮАР(2), Япония	СИММИТ, Мексика 2 недели – 3 месяца
Индивидуальные курсы обучения ИКАРДА; селекция, биотехнология, патология	7 чел. / Эфиопия (2), Катар, Судан, Сирия (2), Тунис, Йемен	ИРКАДА, Сирия 2 недели – 1 месяц

Таблица 3. Оценка текущего состояния условий для проведения исследований НССХИ

Страна (производитель пшеницы)	Условия для проведения исследований пшеницы				
	Патология			Условия селекции	
	Исследования	Исследовательский анализ	Биотехнические лаборатории	Опытные станции	Проверка с/х технологий в полевых условиях
Морокко	3	3	4	4	3
Алжир	2	0	3	4	3
Тунис	3	0	4	4	3
Египет	3	2	4	4	4
Судан	1	0	2	3	2
Йемен	1	0	2	3	2
Эфиопия	3	2	3	4	3
Саудовская Аравия	3	0	4	2	2
Иран	4	3	4	4	4
Сирия	3	0	3	4	4
Турция	3	0	3	4	4
Таджикистан, Кыргызстан, Казахстан	3	2	3	4	3
Казахстан	2	1	3	3	1

Армения,	2	0	2	3	2
Азербайджан					
Грузия,	3	2	2	3	2
Узбекистан					
Аргентина	4	5	4	4	4
Бразилия	5	5	4	5	5
Мексика	3	2	2	4	3
Непал	2	0	-	-	-
Бангладеш	2	0	-	-	-
Китай	4	2	4	5	3
Индия	4	3	4	4	4
Уругвай	5	5	4	5	4
Оценка условий для проведения исследований (0-5): 0=условий нет; 5= чрезвычайно благоприятные и функциональные условия					

International Conference on wheat Stem Rust Ug99 -A Threat to Food Security 6-8 November 2008 New Delhi, India

Международная конференция по пшеничной ржавчине Ug99 -угроза продовольственной безопасности

6-8 ноября Нью Дели, Индия

План действий в чрезвычайных ситуациях для пшеничной ржавчины: Готовность и быстрое реагирование

Вафа Эль Кхоури и Кейт Кресмен

FAO, Организация ООН по продовольствию и сельскому хозяйству

Введение

Пшеничная ржавчина вероятно является самым главным биотическим препятствием в производстве пшеницы во всём мире. Использование устойчивых сортов является самым экономным и надёжным способом борьбы со всеми видами пшеничной ржавчины.

Однако ржавчина способна побороть устойчивые гены и когда условия окружающей среды благоприятны, она способна причинить разоряющую эпидемию. Пшеничная ржавчина переносится ветром на короткие и длинные расстояния, и поэтому не может быть исключена карантинными методами. Появление вирулентного штамма в одной из стран рано или поздно перебрасывается в другую страну и разрушает ранее устойчивые сорта пшеницы. Правительства, которые осознают угрозу эпидемии ржавчины производству пшеницы, должны выработать план действий в чрезвычайных ситуациях, чтобы помочь улучшить свою готовность и быстрое реагирование в случае вспышки болезни ржавчины. И так как вспышка ржавчины быстро становится глобальной проблемой, то необходимы координированные региональные и глобальные усилия.

Что такое план действий в чрезвычайных ситуациях

Есть много интерпретаций плана чрезвычайных мер и они зависят от контекста, в котором они разработаны и применены.

Планирование для непредвиденных обстоятельств является инструментом менеджмента используемого для того, чтобы быть готовыми к потенциальным кризисам, любым критическим обстоятельствам и бедствиям, обеспечением адекватных и подходящих мер, чтобы во время и решительно справиться с чрезвычайным положением. Эти меры должны свести к минимуму потенциальный отрицательный эффект, возникнувший из за чрезвычайного положения причинённого, скажем, вредителями животных или болезнью.

Планирование для непредвиденных обстоятельств даёт самый большой эффект, когда в нём участвуют все те, которые будут работать вместе до возникновения чрезвычайного положения (т.е, в подготовительной фазе) и самое главное в самом его начале. Следовательно, должны быть вовлечены группы разных дисциплин и институтов, охватывающих всех национальных заинтересованных сторон и секторов в развитии чрезвычайных планов. В случае заболеваний растений, они включают отделы охраны растений, сельскохозяйственное исследование, секторы размножения и семян (государственные и частные системы), службу по распространению опыта и фермерские организации и другие сектора частных институтов, вовлечённых в агротехнику.

Планирование для непредвиденных обстоятельств так же включает идентификацию организационной роли различных главных игроков, ответственность, легальные рамки, политику контроля, структуры и системы, которые нужно будет установить или

упрочить во время подготовительного этапа к угрозе болезни и так же к тому времени, когда вспыхнет болезнь.

Хороший чрезвычайный план должен состоять из информации такой как, руководящие положения, перечень проверочных операций и комитеты ответственные за соответствующую деятельность и их структуры, источники финансирования, существующие контроли или ресурсы по ликвидации, оценку критических споров, координацию планов, имена контактных лиц и подробности вовлеченных институтов и секторов, проекты контрактов и т.д. Соответственно, национальный план действует как общее руководство используемое всеми властями и администрациями вовлеченными в борьбу с вредителями растений в пострадавшей стране.

Чрезвычайный план необходимо регулярно пересматривать и обновлять, чтобы отражать административные и законодательные изменения, политические события, научные продвижения и операционный характер и включать полученные из предыдущих вспышек уроки.

План действий в чрезвычайных ситуациях для пшеничной ржавчины

Планирование для чрезвычайных ситуаций в случае заболеваний растений, как и в случае стеблевой ржавчины пшеницы обычно состоит из двух фаз:

1. Фаза до чрезвычайной ситуации – приготовления до наступления чрезвычайного положения. Эта фаза состоит из действий, которые страна применяет с целью избежания болезни и так же меры, которые можно принять заранее, чтобы подготовиться реагировать на чрезвычайное положение, если не сработали превентивные меры. В случае пшеничной ржавчины готовность к чрезвычайной ситуации и превентивные меры являются самыми важными стратегиями плана действий. См. таблицу 1.

2. Реакция на чрезвычайную ситуацию- как только началась чрезвычайная ситуация. Эта фаза состоит из планов акций в ответ на чрезвычайную ситуацию и её контроля. В случае пшеничной ржавчины в ходе этой фазы осуществляется контроль вспышки болезни. См. Таблицу 2.

Этот доклад является начальной попыткой предоставить директивы национальному руководству в их усилиях выработать чрезвычайные планы для борьбы с пшеничной ржавчиной, с ударением на Ug99. Они основаны на принципах планирования непредвиденных обстоятельств и на мерах готовности/предотвращения и реакции различных развивающихся стран в борьбе с подобными болезнями растений, принимая во внимание нынешнюю ситуацию большинства стран, страдающих, или которым грозит риск Ug99 и подобные пшеничные ржавчины.

Данные ниже две таблицы показывают матрицу; перечень проверочных операций для подготовленности и превентивных акций и также реакцию нужную в национальных чрезвычайных ситуациях для борьбы с стеблевой пшеничной ржавчиной. В них перечислены институты или группы вовлеченные в каждую предложенную акцию. Эти таблицы не являются всеобъемлемыми и предназначены для обсуждений.

Ниже указанные специфические моменты – общие для всей главной деятельности. Они не включены в таблицах для целей лучшей видимости, но являются интегральной частью перечня проверочных операций чрезвычайного плана:

☐ Определить наличие рабочей силы, инфраструктурные способности, оборудование и материал

☐ Идентифицировать нужное наращивание потенциала

☐ Идентифицировать источник финансирования и релевантные национальные и международные институты наращивания потенциала

☐ Оценить национальные рамки регулирования и модификацию, необходимую для улучшения

☐ Подготовить товарно-материальные запасы, оборудование и пестициды и оценить соответствующие спросы.

- Идентифицировать источники обретения необходимого материала и оборудования и источники финансирования
- Идентифицировать в каждой сфере деятельности вовлечённые организации, их роли, ответственности, структуру менеджмента и систему поступления информации.
- Подготовить для каждой деятельности контактную информацию о вовлечённых организациях и личностях.

Таблица 1: Использовать контрольный список для приготовления плана действий в чрезвычайных ситуациях в борьбе с Ug99 и другими пшеничными ржавчинами.

Меры по подготовленности и предотвращению

Поле	Группы вовлечённые в деятельность							
	Инспектирование	Группа Ловушка питомник	группа раса анализы	штаты	Селекционный сектор посевных семян заинтересованные круги	лица принимающие решения*	консультант по вопросам сельского хозяйства	фермеры
Национальная система инспектирования и мониторинга								
Учредить национальную инспекторскую группу; согласиться с главной национальной темой (NFP)	+					+	+	+
Предоставить Глобальную систему позиционирования GPS и связанное с этим обучение	+							
Снабдить транспорт, компьютер и компьютерное обеспечение	+							
Дать согласие на ответственность национальных институтов в анализе расы (когда применимо)			+			+		
Дать согласие на ответственность альтернативного регионального или национального института в анализах расы **			+			+		
Предоставить необходимые наращивание потенциала и инфраструктуру			+					
Согласовать место создания ловушек и питомников		+						
Предоставить необходимые обучение и источники различных сортов **		+						
Обеспечить национальный механизм по обмену информацией через NFP	+	+	+					
Обеспечить национальный механизм по обмену информацией через NFP и IFP ***	+	+	+			+		
Улучшить систему селектирования и регистрации (подробности в других докладах)								
Проверить национальные сорта и селекционный материал на чувствительность к угрозе расы (вкл. Ug99)**		+	+	+				

Улучшить легальные и административные системы функционирования управленческого аппарата по регистрации и клиренгу				+	+	+		
Создать много-локационную адаптацию и проводить тесты по устойчивости болезням и предоставить необходимое наращивание потенциала				+	+		+	+
Улучшить базу данных регистрации национальных сортов				+	+	+		
Усовершенствовать национальную систему быстрого размножения и распределения (детали в других докладах)								
Улучшить легальные и административные системы, чтобы справиться с срочно необходимым размножением семян					+	+	+	
Создать механизм по обмену устойчивого генетического материала и имеющимися за рубежом семенами **				+	+	+		
Предоставить необходимое наращивание потенциала для производства качественных семян и их быстрого размножения					+		+	+
Снабдить необходимое оборудование и материалы для более быстрого размножения семян					+	+	+	+
Разработать стратегию быстрого эффективного распределения семян фермерам.					+	+	+	+

* Лица принимающие решения из различных институтов, в их числе по охране растений, сельскохозяйственное исследование, фермерские организации и другие, если необходимы

** В сотрудничестве с международными институтами

*** FAO сейчас разрабатывает глобальную систему раннего предупреждения об угрозе пшеничной ржавчины, которая основана на системе раннего предупреждения пустынной саранчи. Международная организация Focal Point системы раннего предупреждения контактирует с NFP, чтобы получить данные полевой разведки.

Table 2: Контрольный список для подготовки плана действий в чрезвычайных ситуациях в борьбе с Ug99 и другими пшеничными ржавчинами
Ответные действия

Поле	Группы вовлечённые в деятельность							
	Инспекти рование	Группа Ловушка питомник	группа раса анализы	штаты	Селекционный сектор посевных семян заинтересованны е круги	лица принимающ ие решения*	консультант по вопросам сельского хозяйства	фермеры
Искоренение “Зелёных мостов” альтернативных и волонтирных растений несущих популяцию ржавчины (сорняки, ячмень или несизонная пшеница на заброшенных полях								
Создать механизм по определению и нахождению зелёных мостов и альтернативных хозяев	+	+				+	+	+
Создать команду ликвидаторов	+					+	+	+
Создать инвентарную ведомость гербицидов, техники и инструментов для ликвидации						+	+	
Запретить сев очень восприимчивых сортов								
Создать механизм по нахождению площадей с очень восприимчивыми сортами	+					+	+	+
Составить согласованный список очень восприимчивых сортов	+			+	+	+	+	+
Создать национальную команду ликвидаторов	+					+	+	+
Создать механизм по быстрому распространению информации между фермерами						+	+	+
Создать механизм по компенсации фермерам в случае потери урожая				+	+	+	+	+
Целевое фунгицидовое применение в горячих точках инфекции ржавчины								
Изучить национальные правила регистрации фунгицидов, фунгицидов пшеничной ржавчины и механизм новых регистраций, при необходимости.						+	+	
Создать инвентарную ведомость имеющихся фунгицидов ржавчины (количество, место, действенность и т.д.) и технику применения на национальных так и окружных уровнях.						+	+	
Обучить консультантов по вопросам сельского хозяйства и фермеров методам применения на месте							+	+
Сокращение инокула с помощью управления площадями и ландшафтом (ленточный посев, сортовое смешивание или многолинейный, сорта различных профилей устойчивости, скороспелые или короткосрочные сорта, изменение дат посева								

Оценить применимые площади и технику управления ландшафтом	+	+	+	+	+	+	+	+
Создать механизм распространения информации среди фермеров и применения её фермерами				+	+	+	+	+

* Лица принимающие решения из различных институтов, в их числе по охране растений, сельскохозяйственное исследование, фермерские организации и другие, если необходимы

** В сотрудничестве с международными институтами

*** FAO сейчас разрабатывает глобальную систему раннего предупреждения об угрозе пшеничной ржавчины, которая основана на системе раннего предупреждения пустынной саранчи. Международная организация Focal Point системы раннего предупреждения контактирует с NFP, чтобы получить данные полевой разведки.

Origin, evolution, distribution and virulence of Ug99 and the global stem rust monitoring system

Источник, эволюция и вирулентность Ug99 и международная система мониторинга стеблевой ржавчины

Z. A. Pretorius¹ and R. F. Park²

¹Отдел прикладной ботаники, университета Free State, Bloemfontein 9300, ЮАР

²Институт растениеводства Cobbitty, Университет Сидней, Camden NSW 2570, Австралия

В результате наблюдений стеблевой ржавчины на хлебной пшенице в питомниках Уганды, в частности над теми, которые предположительно несут перемещения хромосомов 1BL.1RS, подозревают вирулентность резистентного гена *Sr31*. Образцы *Puccinia graminis* f. ос. *tritici*, собранные в исследовательской станции Кальенгере в Уганде, были посланы в ЮАР в 1999 году. Затем угандийскую ржавчину вырастили в питательной среде на пшеничном генотипе, несущем *Sr31*. Установление анализов чистой культуры и расы на различных пшеничных сериях носящих гены *Sr*, подтвердило вирулентность для *Sr31*. Исходный изолят, названный Pgt-Ug99 и позднее сокращённый до Ug99 –Uг99, был вирулентным для *Sr21*, -22, -24, -25, -26, -27, -29, -32, -33, -34, -35, -36, -39, -40, -42, и -43, *Agi*, и *Em* и вирулентным для *Sr5*, -6, -7b, -8a, -8b, -9b, -9e, -9g, -11, -15, -17, -30, -31, и -38 (Pretorius et al., 2000). Ug99 авирулентен Einkorn, но последующие тесты показали вирулентность для *Sr21* в некоторых генетических обстоятельствах (Jin et al., 2007).

Хотя подтверждение вирулентности *Sr31* было получено в 1999 году, возможно что раса присутствовала в Кении ещё в 1993 году (Singh et al., 2006). В годы после первого определения Ug99, его обнаружили в восточной части Кении в 2001 году и Эфиопии 2003 и 2005 годах. (Singh et al., 2006). Ug99 сейчас укоренился в восточной Африке и есть сообщения его присутствия в Судане, Йеменской Республике и Иране. (Singh et al., 2008; www.globalrust.org).

Пошаговая миграция Ug99 в северную Африку, Средний Восток и Азию не является единственной обеспокоенностью. В Кении Ug99 обрел вирулентность для *Sr24* and *Sr36* в 2006 и 2007 годах (Jin et al., 2008a; Jin неопубликованные данные). Оба резистентные гены были широко использованы в глобальных селекциях пшеницы и вирулентность к ним значительно сократилась в пуле генетической диверсификации, необходимой для борьбы с этой расой.

Стеблевая ржавчина обнаруженная в ЮАР в 2000, названная 2SA88 институтом мелких зёрен ARC в Бетлехеме (Boshoff et al., 2002), может дать понятие о начале Ug99. Фенотипически, 2SA88 подобен Ug99, кроме авирулентности к *Sr31*. В дополнение вирулентность для *Sr8b* и *Sr38* не была известна в ЮАР до обнаружения 2SA88, что предполагает введение извне. В 2007 вариация 2SA88, вирулентной к *Sr24*, была собрана с весенней пшеницы в западной части Мыса в ЮАР. Принимая во внимание схожесть профилей вирулентности Ug99 и 2SA88, был поднят вопрос был ли приобретён 2SA88 на месте или он был экзотическим введением. Чтобы испытать гипотезу, того что 2SA88 и Ug99 родственны, селекция изолятов стебляной ржавчины в ЮАР, сохраняемая в университете Free State была сравнена с Ug99, с использованием маркёров SSR и AFLP. Анализы как SSR так и AFLP, и так же набор комбинированных данных, показали, что Ug99, UVPgt55 (изолят 2SA88) и UVPgt59 (+*Sr24*) были родственны (Visser et al., in press). Более того, гроздь Ug99 значительно отличается от других рас в ЮАР. Это изучение подтверждает, что 2SA88 не произошёл в ЮАР. Если предположение того, что вирулентность больше

приобретается, чем теряется, то прогенитором в случае, особенно с *Sr31*, 2SA88 может быть Ug99.

Используя северно-американскую систему описания стеблевой ржавчины были обнаружены пять рас, т.е. TTKSF, TTKSK, TTKSP, TTKST и TTTSK, (Jin et al., 2008b). Ясно то, что необходимо вести неусыпное наблюдение над гроздьями расы Ug99, чтобы успевать за развитием распределения и новых вариантов.

Мониторинг патогенов зерновой ржавчины в глобальном контексте.

Наблюдение за ржавчиной было важным ключевым компонентом контроля над ржавчиной за более чем 50 лет во многих странах. Большую ценность представляло простое знание того, что присутствует или нет ржавчина в регионе, и если присутствует, то нужно знать степень и серьёзность распространения. С тех пор как Stakman и Piemeisel (1917) продемонстрировали существование (штаммов, патотипов) в патогене стеблевой ржавчины ещё в начале 1900, наблюдение во многих странах разработало определение и характеристикацию рас ржавчины. Эти обследования предоставили важную информацию о распределении расы ржавчины, которые можно использовать как схему раннего предупреждения, чтобы предупредить фермеров и лиц принимающих решения о появлении новой опасной расы.

Хотя многие страны проводили программы обследования и анализы ржавчины, но не было приложено достаточно усилий, чтобы координировать эту деятельность на международном уровне. На пути этих усилий стоит ряд преград в их числе, недостаток ресурсов (как инфраструктурных так и персонала), разница в используемых генотипах и различие в номенклатуре расы.

В 1968 году в Лондоне на первом международном конгрессе по патологии растений была одобрена резолюция, того чтобы региональные различия в вирулентности должны быть проведены в нескольких патогенах растений, включающих патоген желтой ржавчины пшеницы (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) патоген желтой ржавчины пшеницы (*P. striiformis* f. sp. *tritici*). Это привело к международному обследованию вирулентных генов в *P. graminis* f. sp. *tritici* проф. Ирвин Ватсон и Др. Харолд Луиг из сиднейского университета. Результаты исследования были опубликованы 1983 году в книге, дающей замечательный исторический обзор глобальной вариабельности стеблевой ржавчины. (Luig 1983).

Вопреки трудностям присущим глобальному обследованию ржавчины, собранные к этому времени данные по вариации в клеточной линии Ug99 и распределении членов этой линии является замечательным примером исключительного международного сотрудничества по обследованию ржавчины. Информация собранная из обследования, питомников-ловушек, анализов расы, ДНК-генотипоскопии и GIS за довольно короткий период времени чётко определила важность Ug99, демонстрацией уязвимости большой доли глобальной гермоплазмы пшеницы. Нахождение и детальная характеристика нескольких мутационных производных с вирулентностью для двух важных резистентных генов (*Sr24* and *Sr36*) предоставили дальнейшую важную информацию для резистентного селекционирования и контрольных стратегий.

Острота угрозы Ug99 и её миграции и также ржавчины других зерновых, придала большую важность установлению глобальной системы мониторинга зерновой ржавчины. Целью недавно созданного “Проекта по прочной резистантности пшеницы к ржавчине” является “Отслеживание патогенов зерновой ржавчины”, объектом которой является “создать систему, которая сможет сообщать о распространении и природе стеблевой ржавчины” (Глобальная Система Мониторинга Зерновой Ржавчины; GCRMS). Это можно достичь разработкой информационной платформы, с акцентом на GCRMS и развитии национальных потенциалов в осуществлении эффективного отслеживания и мониторинга патогенов. И как только будет установлена система GCRMS, она будет содействовать сбору данных о распространении расы/вирулентности и хозяев резистентных генов в используемых культиварах, путём

соединения усилий стран и регионов в исследовании ржавчины. Ключём к успеху этой инициативы будет соединение значимой базы знаний, которая сейчас есть в различных странах, которые проводили долгое время исследование ржавчины, такие как Индия, США, Канада и Австралия.

References

- Boshoff, W.H.P., Pretorius, Z.A., van Niekerk, B.D. & Komen, J.S. 2002. First report of virulence in *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* to wheat stem rust resistance genes *Sr8b* and *Sr38* in South Africa. *Plant Disease* 86: 922.
- Jin, Y., Szabo, L. & Pretorius, Z.A. 2008b. Virulence variation within the Ug99 lineage. *Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium*, Brisbane, Australia.
- Jin, Y., Szabo, L., Pretorius, Z.A., Singh, R.P. & Fetch, T. 2008a. Detection of virulence to *Sr24* within race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Plant Disease* 92: 923-926.
- Jin, Y., Singh, R.P., Ward, R.W., Wanyera, R., Kinyua, M., Njau, P., Fetch, T., Pretorius, Z.A. & Yahyaoui, A. 2007. Characterization of seedling infection types and adult plant infection response of monogenic *Sr* gene lines to race TTKS of *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*. *Plant Disease* 91: 1096-1099.
- Luig NH (1983) 'A Survey of Virulence Genes in Wheat Stem Rust, *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*'. (Verlag Paul Parey: Berlin).
- Pretorius, Z.A., Singh, R.P., Wagoire, W.W. & Payne, T.S. 2000. Detection of virulence to wheat stem rust resistance gene *Sr31* in *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Uganda. *Plant Disease* 84: 203.
- Singh, R.P., Hodson, D.P., Jin, Y., Huerta-Espino, J., Kinyua, M.G., Wanyera, R., Njau, P. & Ward, R.W. 2006. Current status, likely migration and strategies to mitigate the threat to wheat production from race Ug99 (TTKS) of stem rust pathogen. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 54: 1-13.
- Singh, R.P., Hodson, D.P., Huerta-Espino, J., Jin, Y., Njau, P., Wanyera, R., Herrera-Foessel, S.A. & Ward, R.W. 2008. Will stem rust destroy the world's wheat crop? *Advances in Agronomy* 98: 271-309.
- Stakman, E.C., Piemeisel, F.J. 1917. Biologic forms of *Puccinia graminis* on cereals and grasses. *Journal of Agricultural Research* 10: 429-495.
- Visser, B., Herselman, L. & Pretorius, Z.A. Genetic comparison of Ug99 with selected South African races of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Molecular Plant Pathology* (in press).