

На правах рукописи

Шумилов Юрий Валерьевич

АГРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ПРИЕМОМ СНИЖЕНИЯ ИНФЕКЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ВОЗБУДИТЕЛЯ
ЖЕЛТОЙ РЖАВЧИНЫ ПШЕНИЦЫ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ

Специальность: 06.01.07 – защита растений

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Саратов – 2013

Работа выполнена в Государственном научном учреждении Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений Российской академии сельскохозяйственных наук

Научный руководитель: Волкова Галина Владимировна
доктор биологических наук

Официальные оппоненты: Силаев Алексей Иванович
доктор сельскохозяйственных наук, старший научный
сотрудник, Саратовская лаборатория Всероссийского
института защиты растений, руководитель

Хорошева Татьяна Михайловна
кандидат сельскохозяйственных наук,
Саратовский государственный аграрный университет
им. Н.И. Вавилова, доцент кафедры защиты растений и
плодоовощеводства

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный
аграрный университет»

Защита диссертации состоится 25 декабря 2013 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.05 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»

по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., д. 1.

E-mail: dissovet01@sgau.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ».

Автореферат разослан 25 ноября 2013 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Пронько Нина Анатольевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. Одним из вредоносных заболеваний пшеницы является желтая ржавчина, вызываемая грибом *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*. Патоген снижает урожай, качество семян, может вызвать 100 % потерю урожая при наличии оптимальных погодных условий (Кайдаш и др., 1976; Добрянская и др., 1999; Chen, 2005).

В последние годы частота возникновения заболевания на Северном Кавказе возросла, что связано с возделыванием восприимчивых сортов, образованием агрессивных рас, изменением климата в регионе, заносом инфекции с сопредельных территорий.

Возделывание в производстве устойчивых к болезням сортов, а также применение альтернативных экологических мер борьбы приобретают все большую актуальность и значимость. Создание устойчивых сортов невозможно без глубоких знаний эволюции, состава популяции, внутривидовых взаимоотношений, специализации и изменчивости возбудителя болезни. Важна информация о генетических основах и типах устойчивости растения-хозяина. Необходимы сведения об источниках устойчивости, оценке и отборе устойчивых к болезням генотипов. Поэтому работа, посвященная изучению патосистемы «пшеница – возбудитель желтой ржавчины» и агробиологическому обоснованию приемов снижения инфекционного потенциала гриба, актуальна и важна.

Степень разработанности темы. Проведенный анализ литературы свидетельствует о достаточной изученности биоэкологических особенностей развития возбудителя желтой ржавчины пшеницы (Кайдаш и др., 1972; Chen, 2005; Yue et al., 2010 и др.), вредоносности и распространения патогена (Wellings, 2011; MacKenzie, 2011 и др.), генетической структуры популяции гриба (Boshoff et al., 2002; Wellings, Kandel, 2004 и др.). В настоящее время известно уже около 100 генов устойчивости к *P. striiformis*, выделено большое количество источников устойчивости к патогену (McIntosh et al., 2011 и др.).

В России исследования патосистемы «пшеница – возбудитель желтой ржавчины» в последние годы не проводились. До 1993 г. такие работы велись во ВНИИ биологической защиты растений (г. Краснодар) (Кайдаш и др., 1972; Краева и др., 1973; Анпилогова и др., 1995). С 2007 г. исследования по данной проблематике были возобновлены по причине увеличения частоты встречаемости патогена на юге России и по-

явления новых агрессивных рас желтой ржавчины (MacKenzie, 2011). Учитывая тот факт, что ржавчинные заболевания распространяются на сотни и тысячи километров, эти опасные расы могут мигрировать на Северный Кавказ. Поэтому крайне необходим мониторинг распространения и развития возбудителя желтой ржавчины, его вирулентности, генетического разнообразия растения-хозяина, а также разработка и применение альтернативных экологических мер борьбы с патогеном. Это и определило направление данных исследований.

Цель исследований. Изучение генетических механизмов взаимоотношений в системе «*Triticum aestivum* L. – *P. striiformis* f.sp. *tritici*» и агробиологическое обоснование приемов снижения инфекционного потенциала возбудителя желтой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе.

Задачи исследований:

- изучить распространение и развитие возбудителя желтой ржавчины пшеницы в различных агроклиматических зонах Северного Кавказа;
- дать характеристику расового состава и генетической структуры популяции *P. striiformis* f.sp. *tritici* на Северном Кавказе;
- выявить особенности отбора по признаку вирулентности в популяции патогена в зависимости от устойчивости растения-хозяина;
- определить типы устойчивости у сортов озимой пшеницы отечественной селекции к *P. striiformis* в полевых и камерных условиях;
- оценить коллекционные образцы озимой и яровой пшеницы, редких видов пшеницы и эгилопса на устойчивость к заболеванию;
- определить эффективность известных генов устойчивости (Yr) и их комбинаций к *P. striiformis* в разные фазы развития растений;
- изучить влияние сортосмешанных посевов на снижение развития возбудителя желтой ржавчины;
- оценить эффективность применения индукторов болезнеустойчивости против патогена на сортах озимой пшеницы, различающихся по устойчивости.

Научная новизна. Проведено электронное картирование распространения и развития возбудителя желтой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе (2009-2012 гг.). Определена внутривнутрипопуляционная структура *P. striiformis* в Северо-Кавказском регионе с использованием расширенного набора сортов-дифференциаторов и близкородственных линий пшеницы; выявлен фенотипный и расовый состав гриба; проведен ре-

троспективный анализ. Определены типы устойчивости к патогену 43 высеваемых на юге России сортов озимой пшеницы. Выявлены 344 новых источника устойчивости к *P. striiformis* среди образцов пшеницы, ее редких видов и *Ae. tauschii* коллекции ВНИИР им. Н.И. Вавилова. Определена эффективность 42 известных в литературе генов устойчивости (Yr) и их комбинаций. Изучено влияние сортосмешанных посевов и трех индукторов болезнеустойчивости на снижение развития возбудителя желтой ржавчины.

Теоретическая значимость работы. Выявлены генетические механизмы взаимоотношений в патосистеме «*T. aestivum* L.–*P. striiformis* f.sp. *tritici*».

Практическая значимость работы. Производственной практике предложены результаты фитосанитарного мониторинга (в виде электронных карт) распространения и развития желтой ржавчины на Северном Кавказе для разработки прогноза развития заболевания, рационального сорторазмещения, защитных мероприятий; 23 сорта пшеницы со специфической и 20 – с неспецифической устойчивостью к патогену; приемы снижения развития возбудителя желтой ржавчины на основе смеси сортов с возрастной и неспецифической устойчивостью в соотношении 4 : 1 и индуктора болезнеустойчивости Фитохит-Т при норме расхода 100 г/га в фазу выхода растений в трубку.

Практической селекции предложены 23 источника расоспецифической и 20 – неспецифической устойчивости к возбудителю желтой ржавчины, 344 устойчивых коллекционных образца пшеницы, ее редких видов и *Ae. tauschii*, 26 носителей эффективных Yr-генов и их комбинаций.

Методология и методы исследований. Теоретической и методологической основой диссертации являлись научные труды отечественных и зарубежных ученых. Исследования выполнены с использованием общепринятых полевых, вегетационных, лабораторных и статистических методов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- особенности генетической структуры популяции возбудителя желтой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе;
- типы устойчивости перспективных сортов озимой пшеницы к закавказской популяции *P. striiformis*, распространенной на Северном Кавказе. Новые источники устойчивости;

- прием снижения развития возбудителя желтой ржавчины – сортосмешанные посевы пшеницы;
- особенности влияния индукторов хитозанового ряда на снижение развития *P. striiformis*.

Степень достоверности и апробация результатов. Эксперименты проведены в соответствии с общепринятыми методиками. Достоверность выводов подтверждена статистической обработкой данных.

Результаты исследований доложены на 4th Regional Yellow Rust conference (Turkey, Antalia, 2009), 12th International Cereal Rusts and Powdery Mildews Conference (Turkey, Antalia, 2009), 5-ом съезде Вавиловского общества генетиков и селекционеров (Москва, 2009), Всероссийской научно-производственной конференции «Современные иммунологические исследования, их роль в создании новых сортов и интенсификации растениеводства» (Большие Вяземы, 2009), выставке НТТМ-2010 (Москва, 2010), конференции «Генетика и биотехнология на рубеже тысячелетий» (Белоруссия, Минск, 2010), 8-ой Международной конференции по пшенице (Санкт-Петербург, 2010), 7-ой Международной научно-практической конференции «Современные мировые тенденции в производстве и применении биологических средств защиты растений» (Краснодар, 2012), 3-ей Всероссийской и международной конференции «Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам» (Санкт-Петербург, 2012), 3-ей Вавиловской международной конференции «Идеи Н.И. Вавилова в современном мире» (Санкт-Петербург, 2012), 6-ой международной научно-практической конференции «Агротехнический метод защиты растений от вредных организмов» (Краснодар, 2013), Международном симпозиуме «Микроорганизмы и биосфера» (Кыргызстан, Бишкек, 2013), Technical Workshop BGRI 2013 (India, New Delhi, 2013), 15-ой Российской агропромышленной выставке «Золотая осень 2013» (Москва, 2013).

Публикация результатов исследований. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 каталог, 1 методическое указание.

Объем и структура диссертации. Материалы диссертации изложены на 227 страницах машинописного текста и включают 21 рисунок, 35 таблиц, 5 приложений. Список литературы включает 288 источников, из них 193 – иностранных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе 1 приведены данные литературы российских и зарубежных авторов о биологии, морфологии, распространении и вредоносности гриба *P. striiformis* (Кайдаш и др., 1972; Chen, 2005; Yue et al., 2010; Wellings, 2011; MacKenzie, 2011). Рассмотрены вопросы изучения структуры популяции патогена по расовому составу и вирулентности, генофонда пшеницы и типов ее устойчивости к возбудителю, приемов борьбы с *P. striiformis* (Чуприна, 1999; Boshoff et al., 2002; Wellings, Kandel, 2004; McIntosh et al., 2011; Волкова и др., 2012). Обзор литературы позволил выявить не изученные вопросы по распространению, генетической структуре, типам устойчивости и приемам борьбы с патогеном в зоне Северного Кавказа и определить направление исследований.

В главе 2 описаны место, условия, материалы и методы проведения исследований. Эксперименты проводили с 2008 по 2012 гг. в условиях теплицы и камер искусственного климата, на опытных полях Всероссийского НИИ биологической защиты растений (г. Краснодар) лаборатории иммунитета зерновых культур к грибным болезням. Опыты закладывали в полевых условиях на искусственном инфекционном фоне.

Опыты в теплице и камере искусственного климата вели весной, осенью и зимой при оптимальных температурных показателях для развития патогена (13-18°C). Интенсивность освещения составляла 12-15 тыс. лк. в течение 16 часов, относительная влажность воздуха - 60-80 %.

Погодные условия за период исследований в целом были благоприятными для развития возбудителя желтой ржавчины пшеницы.

Объектами исследований являлись: возбудитель желтой ржавчины пшеницы (*P. striiformis*); 46 сортов-дифференциаторов и близкоизогенных линий; 43 сорта озимой пшеницы селекции КНИИСХ, ВНИИЗК, Прикумской ОСС; 587 коллекционных образцов из ВНИИР им. Н.И. Вавилова; три индуктора болезнеустойчивости (Фитохит, Фитохит-Т, Хитоплан).

В ходе обследований оценивали распространение и развитие желтой ржавчины пшеницы на производственных и селекционных посевах региона (Санин, 2002). Электронное картирование фитосанитарной информации проводили с использованием информационной системы «GeoLook» (2012). Сбор, хранение, выделение монопустьных изолятов, определение генотипического и расового состава популяции гри-

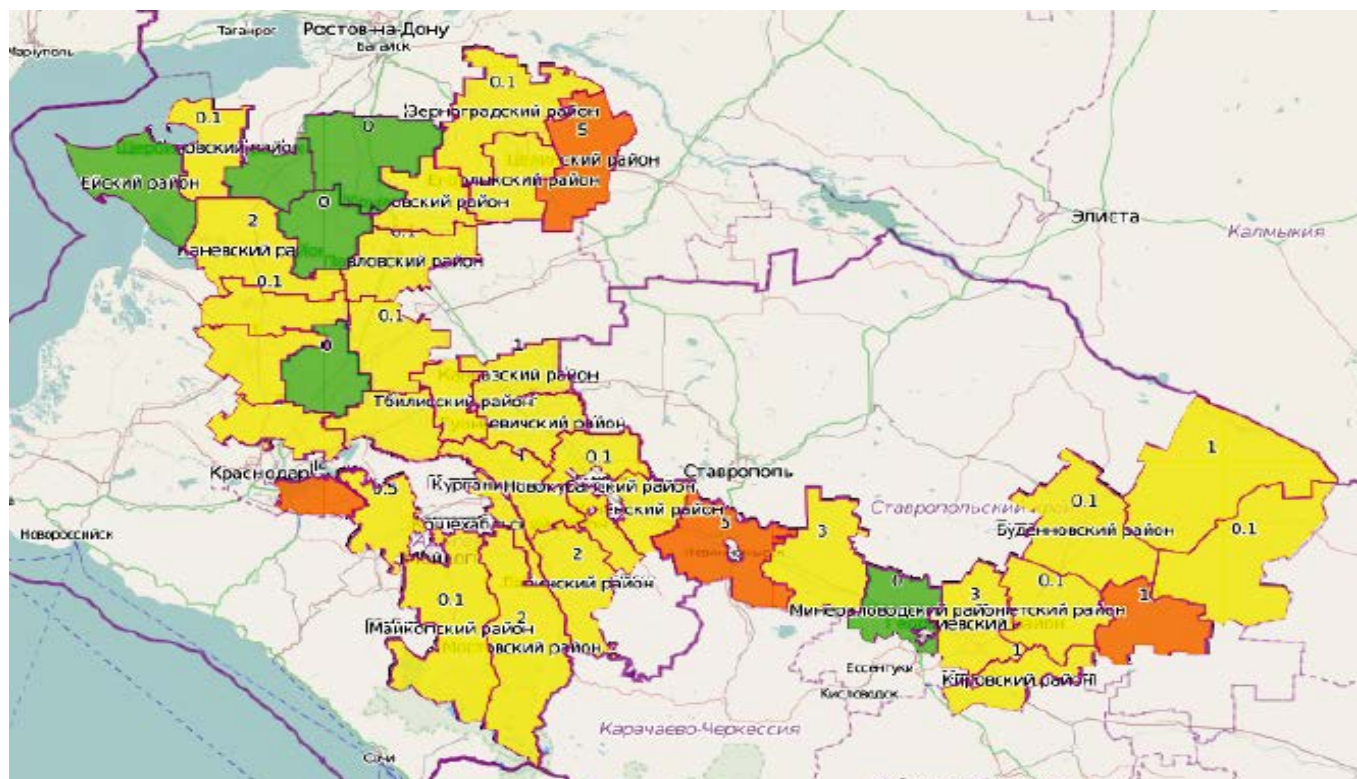
ба вели по методикам ВНИИФ (1977), Бабаянц и др. (1988), ВНИИЗР (2000). Для тепличных опытов растения пшеницы выращивали на гидропонике с применением питательного раствора Кнопа, а также в пластиковых вазонах емкостью 500 и 5000 см³, содержащих смесь чернозема и чистого песка (Смирнова, Алексеева, 1988). Искусственный инфекционный фон возбудителя желтой ржавчины пшеницы создавали по методике Анпилоговой, Волковой (2000). Иммунологическую оценку сортов озимой пшеницы, линий и коллекционных образцов на устойчивость к возбудителю желтой ржавчины в условиях поля проводили по типу реакции растений, в баллах (Gassner, Straib, 1932), ПКРБ, в усл. ед. (Wilcoxson et al., 1974), снижению массы 1000 зерен, в % (Бабаянц и др., 1988). Типы устойчивости сортов пшеницы к возбудителю желтой ржавчины в условиях камеры искусственного климата определяли по критериям: продолжительность латентного периода, в сут; доля проявившихся пустул на единицу листовой поверхности, в %; тип реакции, в баллах (Макаров и др., 2003). Биологическую эффективность рассчитывали по формуле Эббота (Новожилов, 1985). Статистическую обработку опытов проводили с использованием средней вирулентности популяции по Martens (1968), индекса Роджерса (Михайлова и др., 1998), индекса Шеннона (Long, Kolmer, 1989), дисперсионного анализа и НСР₀₅ (Доспехов, 1973). Экономическую эффективность рассчитывали по методике Колтуновой (1998).

В главе 3 представлены результаты изучения интенсивности развития и генетической структуры популяции возбудителя желтой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе.

Интенсивность развития возбудителя желтой ржавчины пшеницы в различных агроклиматических зонах Северного Кавказа. Установлено, что в южной предгорной и центральной зонах развитие болезни в среднем по годам составило 6,1 и 4,1 % соответственно. На отдельных производственных полях пшеницы развитие *P. striiformis* достигало 10-30 %. В западной приазовской, северной и восточной степной зонах развитие патогена составило в среднем от единичных пустул до 1,2 %. Отдельные сорта на участках Госсортосети и опытных станций были поражены на 50-100 % (Айвина, Донская лира, Дон 107, Иришка и др.).

Анализ интенсивности развития *P. striiformis* показал, что южная предгорная и центральная агроклиматические зоны Северного Кавказа являются наиболее благоприятными для патогена.

Проведено электронное картирование распространения и развития *P. striiformis* в различных районах Северного Кавказа для разработки прогноза развития заболевания, рационального сорторазмещения, защитных мероприятий (рисунок 1).



■ - заболевание не зафиксировано ■ - развитие заболевания до 5 %
 ■ - развитие заболевания от 5 до 10 %

Рисунок 1 – Районы развития возбудителя желтой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе (среднее за 2009-2012 гг.)

Характеристика расового и фенотипного состава популяции возбудителя желтой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе. Выделено и идентифицировано на расовую принадлежность 284 монопустульных изолята гриба. Из них выявлено 274 фенотипа вирулентности, относящихся к 108 физиологическим расам (рисунок 2).

Установлено, что закавказская популяция гриба является фенотипически разнообразной. Индекс Шеннона за годы исследований составил 3,27; 2,93 и 3,66 соответственно. Это свидетельствует, что наиболее фенотипически разнообразной популяция гриба была в 2011 г., наименее – в 2010 г.

В числе преобладающих по трем годам исследований находилось 14 рас. Их встречаемость составила от 1,6 до 8,1 %, с максимальными показателями для рас 3E0 и 5E0. Основное количество выявленных рас относится к числу редко встречающихся (47,0 %).

Генетическая структура популяции возбудителя желтой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе. Анализ качественного состава закавказской популяции патогена показал, что на территории Северного Кавказа встречаются изоляты с 35 генами вирулентности из 42, используемых в экспериментах. Исходя из средних значений частоты встречаемости, гены ранжированы на группы (рисунок 3).



Рисунок 3 – Частота встречаемости генов вирулентности в популяции *P. striiformis* на Северном Кавказе (2009-2011 гг.)

Установлено, что наиболее вирулентной популяция гриба была в 2010 г. (11,6 %), менее вирулентной – в 2009 г. (9,5 %). В 2011 г. средняя вирулентность составила 10,8 %.

Статистический анализ данных подтвердил высокий уровень генетического разнообразия популяции возбудителя желтой ржавчины. Наиболее генетически разнообразная популяция патогена была в 2010 г. ($Sh=2,89$), наименее – в 2009 и 2011 гг. ($Sh=2,79$). Различия по частотам генов вирулентности были наибольшими между 2009 и 2011 гг. ($R=0,411$), наименьшими – между 2010 и 2011 гг. ($R=0,226$). Это связано с появлением новых рас, изменением климатических условий, а также с возделыванием сортов со специфической устойчивостью в регионе.

За период исследований выявлены тенденции внутрипопуляционных изменений в структуре гриба, вызванные биотическими и абиотическими факторами окружающей среды. Установлено увеличение частоты изолятов с генами рр: 1, 2+HVII, 2+6, 2+6+25, 3a+4a+ND, 4b, 6, 7, 10, 10+Mor, 20+6, 25+7, A, SU; снижение частоты рр: 8,

8+19, 26, 27, 32, Exp1+ Exp2, Pa1+Pa2+Pa3; отсутствие в популяции генов *rr*: 2+3a+4a+Yam, 3c+Min, 5, 25+32, SP, Tr1+Tr2, Tye.

Таким образом, гены устойчивости *Yr*, комплементарные генам вирулентности, встречающимся с частотой до 5 % и не обнаруженным в популяции, необходимо включать в новые сорта пшеницы, так как они способны сдерживать развитие болезни на начальных этапах онтогенеза растения-хозяина.

Особенности отбора по признаку вирулентности в популяции патогена в зависимости от устойчивости растения-хозяина. В условиях теплицы была изучена реакция всходов 44 высеваемых на юге России сортов пшеницы на 36 фенотипов *P. striiformis*, отличающихся по формуле вирулентности. Установлено, что сорта, в зависимости от генотипа, проявляли восприимчивость к различному числу фенотипов: от нуля (на сорте Золотко) до 32 (на сорте Паллада) (рисунок 4).

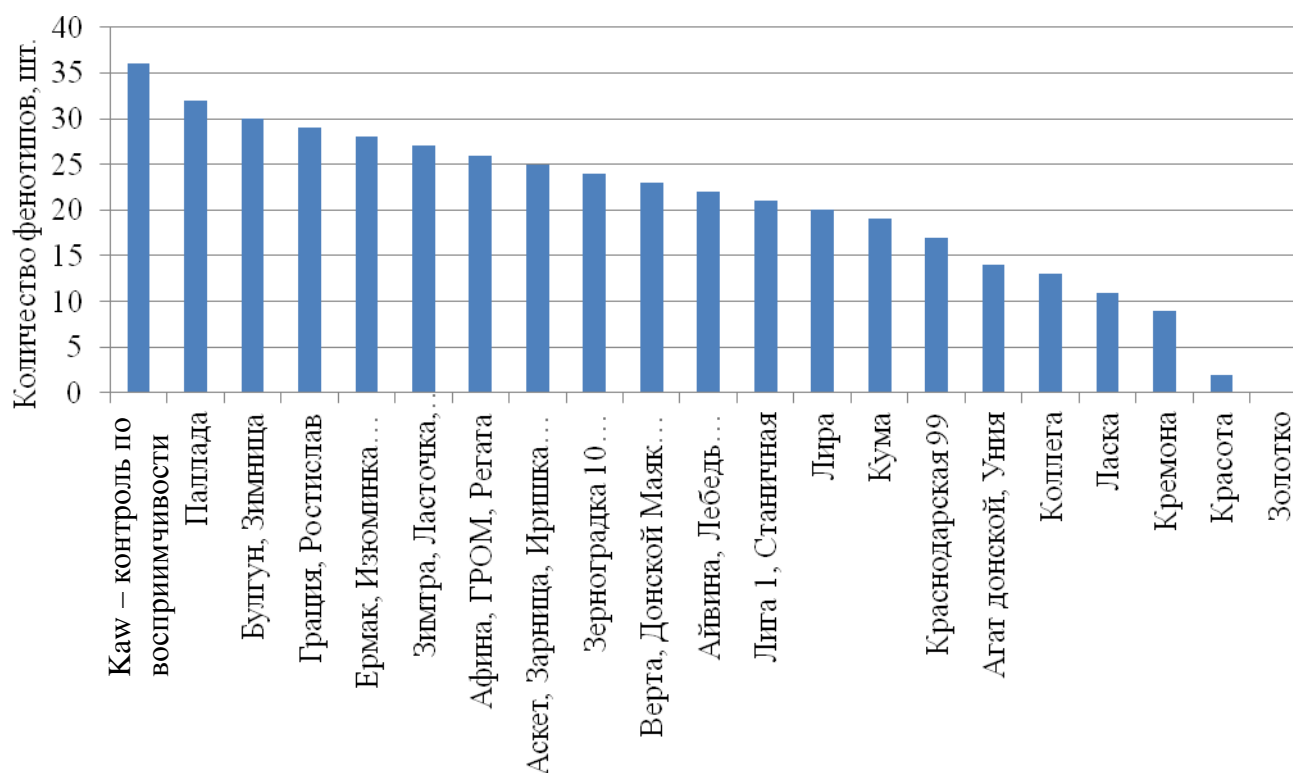


Рисунок 4 – Количество фенотипов возбудителя желтой ржавчины, вирулентных к сортам озимой пшеницы (фаза всходов, 2012 г.)

Изучаемые сорта проявляли высокую способность отбирать фенотипы с многими генами вирулентности. В зависимости от генотипа сорта отбору в большей степени были подвержены фенотипы с генами *rr*: 1, 4b, 6, 2+6+НК, 2+6+25, 7, 7+22+23, 8, 9, 15, 17, 18, 21, 27, 32, А, Exp1+Exp2, Pa1+Pa2+Pa3, 3a+S+Ste+Ste2; в меньшей – p2+HVII, p8+19, p10, p10+Mor, p25+7, pPr1+Pr2, pSD, pSU.

Проведенные исследования позволили определить уровень специфической устойчивости сортов пшеницы на стадии всходов.

В главе 4 отражены результаты изучения генофонда устойчивости пшеницы к возбудителю желтой ржавчины.

Иммунные особенности перспективных сортов озимой пшеницы по отношению к возбудителю желтой ржавчины в полевых условиях. Проведена иммунологическая оценка 43 высеваемых на юге России сортов озимой пшеницы (таблица 1).

В результате сорта были разделены на три группы. Первая группа включает 13 сортов, сочетающих специфическую устойчивость с возрастной к фитопатогену (Агат Донской, Айвина и др.). Во вторую группу вошли 10 сортов (ГРОМ, Зимница и др.). В отличие от первой группы при заражении *P. striiformis* сорта пшеницы имели отдельные пустулы с типом 3 балла, что свидетельствует о начале потери ими устойчивости. 20 сортов третьей группы (Аскет, Булгун и др.) относятся к сортам с замедленным типом развития.

Согласно полученным данным, доля сортов, устойчивых к популяции *P. striiformis*, распространенной на территории Северного Кавказа, составляет 53,5 %, сортов с замедленным типом развития болезни – 46,5 % из числа изученных.

Таблица 1 – Результаты иммунологической оценки сортов озимой мягкой и твердой пшеницы на устойчивость к возбудителю желтой ржавчины (ржавчинный питомник ВНИИБЗР, среднее за 2009–2012 гг.)

Группа	Сорт	Тип реакции, балл	ПКРБ, условные единицы	Снижение массы 1000 зерен, %	Тип устойчивости
1	Агат донской, Айвина, Афина, Верта, Грация, Золотко (тв.), Красота, Лебедь, Ростовчанка 7, Сила, Степнячка, Уния (тв.), Файл	1,2	2,1-63,3	0,9-5,1	Специфическая устойчивость и устойчивость взрослых растений
2	ГРОМ, Зимница, Иришка, Кремона (тв.), Кума, Патриарх, Первица, Ростислав, Юнона, ЮМПА	1,2(3)	63,8-127,9	3,8-9,0	
3	Аскет, Булгун, Донской маяк, Ермак, Зарница, Зерноградка 10, Зимтра, Изюминка, Коллега, Краснодарская 99, Ласточка, Лига 1, Лира, Паллада, Память, Регата, Селянка, Соратница, Станичная, Старшина	2,3	101,1-409,8	7,0-22,7	Замедленный тип развития болезни
	КАW – контроль по восприимчивости	3,4	949,7	40,7	Высокая восприимчивость

Неспецифическая устойчивость у сортов озимой пшеницы отечественной селекции к возбудителю желтой ржавчины. В условиях камер искусственного климата определены типы устойчивости 13 сортов озимой пшеницы по следующим показателям: латентный период, доля проявившихся пустул, тип реакции с последующим расчётом индекса устойчивости. По результатам исследований сорта были разделены на группы (таблица 2). В первую группу вошли сорта Иришка, Первица, Зимница, имеющие специфический тип устойчивости ($\varphi=0,05-0,09$) к закавказской популяции желтой ржавчины, распространенной на Северном Кавказе. Вторая группа сортов (Ласточка, Победа 50 и др.) защищена высоким уровнем неспецифической устойчивости ($\varphi=0,10-0,36$). Сорт Кремона обладает слабой неспецифической устойчивостью ($\varphi=0,80$). Сорт Паллада характеризовался восприимчивостью ($\varphi=1,93$) к закавказской популяции желтой ржавчины.

Таблица 2 – Показатели индекса устойчивости сортов озимой пшеницы к закавказской популяции *P. striiformis*, распространенной на территории Северного Кавказа (фаза выхода растений в трубку, камера искусственного климата ВНИИБЗР, 2009-2012 гг.)

Группа	Сорт	Продолжительность латентного периода, сут	Тип реакции, балл	Доля проявившихся пустул, %	Индекс устойчивости	Тип устойчивости (φ)
1	Зимница, Иришка, Первица	13 - 15	1 и 1,2	0,45 - 0,69	0,05 - 0,09	специфическая
2	Ласточка, Победа 50, Ростислав, Селянка, Соратница, Старшина, ЮМПА	11 - 13	2 и 2,3	0,50 - 1,66	0,10 - 0,36	высокая неспецифическая
3	Кремона	10	3	2,05	0,80	слабая неспецифическая
4	Паллада	12	3	5,94	1,93	восприимчивый
5	Краснодарская 99 – стандарт неспецифической устойчивости	12	2,3	1,58	0,51	умеренная неспецифическая
	КАW – контроль по восприимчивости	12	3,4	3,9	1,0	-

Сорта озимой пшеницы, обладающие специфической устойчивостью, не будут поражаться желтой ржавчиной до тех пор, пока в популяции возбудителя не появятся новые фенотипы, способные поразить их (в среднем 3-5 лет). Сорта озимой пшеницы, защищенные неспецифической устойчивостью, будут снижать риск возникновения эпифитотии желтой ржавчины, и они рекомендуются для использования в

сельскохозяйственном производстве и в селекции как источники неспецифической устойчивости к *P. striiformis*.

Коллекционные образцы озимой и яровой пшеницы, редкие виды пшеницы и *Aegilops tauschii*, устойчивые к заболеванию. В условиях поля на фоне искусственного заражения проведена оценка 587 сортообразцов из коллекции ВНИИР им. Н.И. Вавилова (рисунок 5).

Определено, что частота встречаемости устойчивых образцов озимой пшеницы выше, чем частота устойчивых яровых образцов (37,2 % и 3,5 % соответственно). Из редких видов наибольшая частота устойчивых образцов встречается среди *T. timopheevii* (100 %). При анализе частоты встречаемости устойчивых образцов пшеницы в группах, имеющих разную ploidy, установлена максимальная частота среди диплоидов (68,4 %) и тетраплоидов (61,6 %). Среди диких видов высокую устойчивость к закавказской популяции *P. striiformis* показали коллекционные образцы из Армении, Азербайджана, Грузии и Сирии – стран Закавказского генцентра происхождения пшениц.

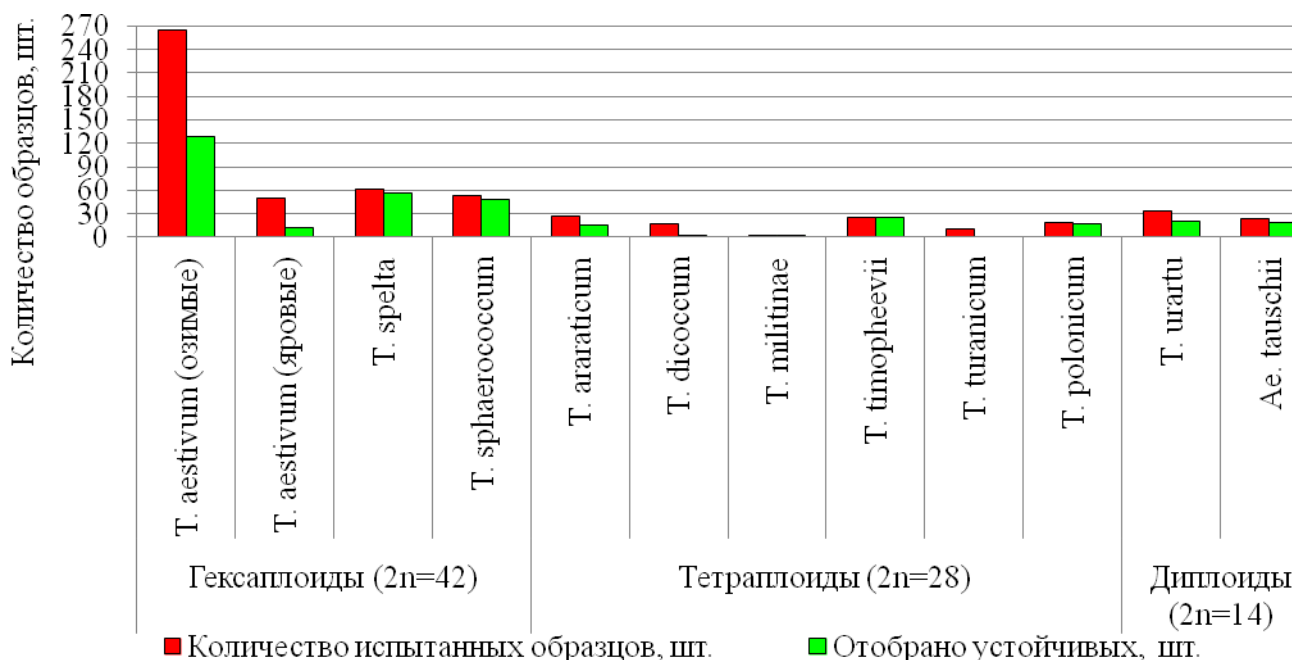
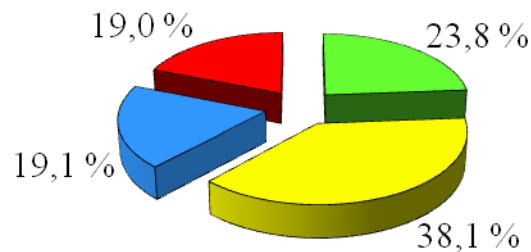


Рисунок 5 – Количество коллекционных образцов, отобранных в качестве источников устойчивости к *P. striiformis* (искусственный фон, 2009-2012 гг.)

По результатам оценки 344 сортообразца проявили устойчивость к *P. striiformis*. Они представляют ценность для использования в практической селекции как генетически разнородные источники устойчивости к данному заболеванию.

Эффективность генов устойчивости (Yr) и их комбинаций к возбудителю желтой ржавчины в разные фазы развития растений. На стадии всходов установлена неэффективность большого числа ювенильных генов устойчивости растения-хозяина (см. рисунок 2).

Проведена оценка эффективности генов устойчивости пшеницы во взрослом состоянии растений (рисунок 6). Гены устойчивости ранжированы по типу реакции и степени поражения растений на четыре группы. Высокоэффективные и эффективные гены рекомендуются для селекции пшеницы на устойчивость к возбудителю желтой ржавчины на юге России, с условием постоянной их ротации.



- Высокоэффективные гены (тип реакции i, 0 баллов, степень поражения 0 %) Yr: 2+3a+4a+Yam, 3a+4a+D+Dru+Dru2, 3b+4b+H46, 5, 32, Pr1+Pr2, SD+25, Sp, SP+25, Tye
- Эффективные гены (тип реакции 1, 1(2) балла, степень поражения 1-5 %) Yr: 1 (в сорте Chinese 166), 2+6+HK, 2+HVII, 3a+4a+V23, 3a+4a+ND+12, 4b, 7+25, 8+19, 10+Mor, 15, 17, 24, 26, Exp1+Exp2, SU, Tr1+Tr2
- Слабоэффективные гены (тип реакции 2, 2(3) и 3 балла, степень поражения 6-30 %) Yr: 3a+Ste+Ste2+S, 3c+Min, 6+20, 2+9+Cle, 8, 10, 18, Pa1+Pa2+Pa3
- Неэффективные гены (тип реакции 3, 4 балла, степень поражения >30 %) Yr: 1 (в линии AVS/6*Yr1), 6, 7, 7+22+23, 9, 21, 27, A

Рисунок 6 – Эффективность известных генов устойчивости (Yr) к возбудителю желтой ржавчины пшеницы во взрослом состоянии растений (2008-2012 гг.)

В главе 5 рассмотрена эффективность некоторых приемов, обеспечивающих снижение вредоносности возбудителя желтой ржавчины пшеницы.

Влияние сортосмешанных посевов на снижение развития возбудителя желтой ржавчины. Для составления сортосмеси были отобраны два широко используемых в производстве сорта озимой пшеницы (Восторг (R) и Батько (S)), схожих по биометрическим показателям и срокам созревания. Их высевали в соотношении 1R:1S и 4R:1S. По полученным за 3 года данным (рисунок 7) следует, что наиболее

эффективным является соотношение сортов 4R:1S. Прибавка урожая достигла 21,7 %, а биологическая эффективность составила 78,0 %.

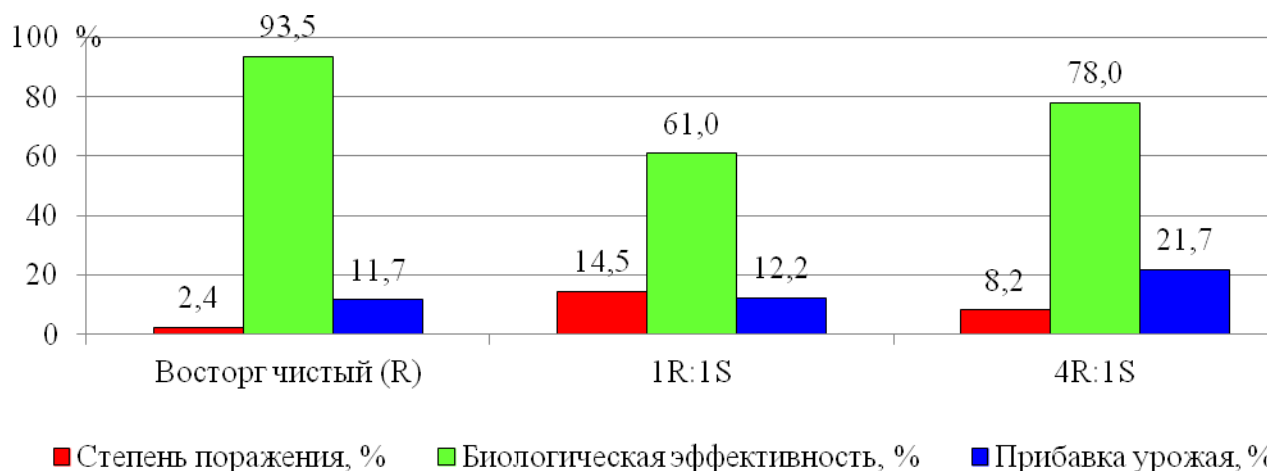


Рисунок 7 – Влияние смесей сортов пшеницы на снижение пораженности желтой ржавчиной, их биологическая и хозяйственная эффективность (ржавчинный питомник ВНИИБЗР, фаза молочно-восковой спелости, 2009-2012 гг.)

Эффективность применения индукторов болезнестойчивости против возбудителя желтой ржавчины пшеницы на сортах озимой пшеницы, различающихся по устойчивости. На двух различающихся по устойчивости к *P. striiformis* сортах озимой пшеницы – Восторг (возрастная устойчивость) и Батько (неспецифическая устойчивость) были изучены индукторы болезнестойчивости хитозанового ряда Фитохит, Фитохит-Т, Хитоплан. Биологическим стандартом явился Альбит, химическим – Альто супер. Установлено, что наиболее эффективным является применение индукторов болезнестойчивости в фазу выхода растений в трубку (до появления признаков заболевания). Сорт Батько был более отзывчивым на применение индукторов устойчивости, чем сорт Восторг, что, вероятно, объясняется разными типами устойчивости этих сортов к желтой ржавчине.

Изученные индукторы болезнестойчивости показали близкую между собой эффективность с максимальными значениями для Фитохит-Т (78,1 %), примененного на сорте с неспецифической устойчивостью Батько (рисунок 8).

Таким образом, из трех индукторов болезнестойчивости против возбудителя желтой ржавчины пшеницы наиболее эффективным является применение Фитохит-Т в

фазу выхода растений в трубку в норме расхода 100 г/га на сортах с неспецифической устойчивостью к *P. striiformis* (типа Батько).

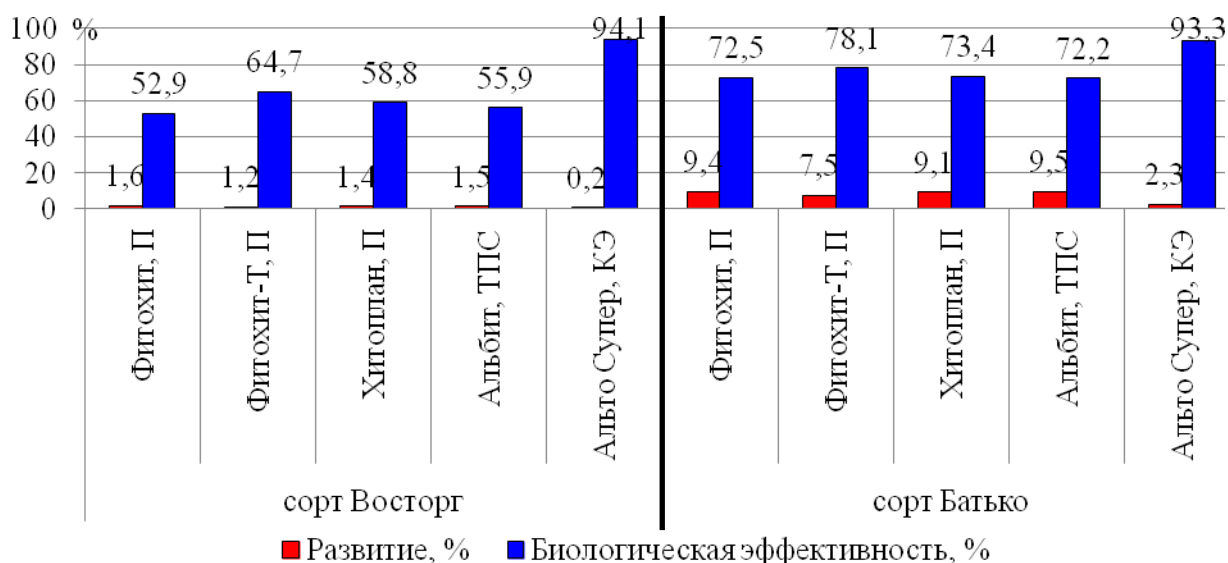


Рисунок 8 – Биологическая эффективность индукторов устойчивости против возбудителя желтой ржавчины на сортах пшеницы с разными типами устойчивости (инфекционный фон, опытное поле ВНИИБЗР, 2010-2012 гг., фаза выхода растений в трубку)

В главе 6 представлена экономическая эффективность применения сортосмешанных посевов пшеницы и индукторов болезнеустойчивости против возбудителя желтой ржавчины пшеницы.

Экономическая эффективность применения сортосмешанных посевов пшеницы против возбудителя желтой ржавчины пшеницы. Применение изучаемого приема позволило снизить развитие желтой ржавчины пшеницы и получить существенные прибавки урожая (таблица 3).

Таблица 3 – Экономическая эффективность применения сортосмешанных посевов пшеницы против возбудителя желтой ржавчины пшеницы (опытное поле ВНИИБЗР, фаза выхода растений в трубку, 2009-2012 гг.)

Показатель	4R:1S	1R:1S	Восторг чистый	Батько чистый – контроль
Урожайность, т/га	5,02	4,63	4,68	4,13
Прибавка урожайности, т/га	0,89	0,5	0,55	-
Прямые затраты на производство зерна, руб./га	9585	9585	9515	9515
Себестоимость 1 т зерна, руб.	1909,4	2070,2	2033,1	2303,9
Стоимость валовой продукции с 1 га, руб.	35140	32410	32760	28910
Чистый доход с 1 га, руб.	25555	22825	23245	19395
Уровень рентабельности, %	266,6	238,1	244,3	203,8
Цена реализации 1 т продукции (зерна) 7000 руб.				

Чистый доход от применения смеси сортов озимой пшеницы Батько : Восторг = 4 : 1 был больше, чем в других вариантах, и составил 25,555 тыс. руб., уровень рентабельности – 266,6 %.

Экономическая эффективность применения индукторов болезнеустойчивости против возбудителя желтой ржавчины пшеницы. Чистый доход от применения Фитохит-Т в фазу выхода растений в трубку на сорте озимой пшеницы Батько был больше, чем от других вариантов и составил 21,98 тыс. руб. (таблица 4). Уровень рентабельности также был выше в варианте с применением индуктора Фитохит-Т (219,6%).

Таблица 4 – Экономическая эффективность применения индукторов болезнеустойчивости против возбудителя желтой ржавчины пшеницы (опытное поле ВНИИБЗР, фаза выхода растений в трубку, 2009-2012 гг.)

Показатель	Фитохит-Т, П	Альбит, ТПС – эталон биоло- гический	Альто супер, КЭ - эталон химический	Контроль без обработки
Урожайность, т/га	4,57	4,5	4,58	4,0
Прибавка урожайности, т/га	0,57	0,5	0,58	-
Прямые затраты на производство зерна, руб./га	10010	10098	10665,5	9515
Себестоимость 1 т зерна, руб.	2190,4	2244,0	2328,7	2378,8
Стоимость валовой продукции с 1 га, руб.	31990	31500	32060	28000
Чистый доход с 1 га, руб.	21980	21402	21394,5	18485
Уровень рентабельности, %	219,6	211,9	200,6	194,3
Цена реализации 1 т продукции (зерна) 7000 руб.				

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен фитосанитарный мониторинг с построением электронных карт распространения и развития возбудителя желтой ржавчины пшеницы в пяти агроклиматических зонах Северного Кавказа. Средняя степень поражения патогеном в 2009-2012 гг. составила от 0,2 до 6,1 %, с максимальными значениями для южной предгорной и центральной агроклиматических зон.

Популяция патогена на Северном Кавказе характеризуется высокой гетерогенностью и широким спектром фенотипов. За три года исследований идентифицировано 108 физиологических рас гриба, среди которых преобладают четырнадцать (0E0, 1E0, 2E0, 3E0, 4E0, 5E0, 5E4, 7E0, 7E4, 10E0, 71E0, 71E4, 71E132, 79E132). Домини-

руют в популяции фенотипы рас, содержащие от 7 до 13 генов вирулентности (56,9 % от общего количества фенотипов).

Популяция *P. striiformis* на Северном Кавказе насыщена генами вирулентности pp: 1, 2+6, 2+6+25, 4b, 6, 7, 7+22+23, 9, 10, 15, 17, 18, 21, 27, A, Exp1+Exp2, SU, концентрация которых колеблется от 26,6 до 88,4 %. Не обнаружены в популяции гены вирулентности p2+3a+4a+Yam, p3c+Min, p5, p25+32, pSP, pTr1+Tr2, pTye. С частотой до 5 % выявлены гены pp: 3a+4a+D+Dru+Dru2, 3a+4a+ND, 3b+4b+H46, 2+9, 10+Mor, 24, Pr1+Pr2, SD+25.

Определена способность отбирать широкий спектр физиологических рас и генов вирулентности *P. striiformis* сортами пшеницы, высеваемыми на юге России. Максимальное количество фенотипов (32 и 30 из 36 изученных) отбирали сорта Паллада и Булгун. В большей степени положительному отбору подвержены гены pp: 1, 2+6, 2+6+НК, 2+6+25, 3a+4a+ND, 3a+4a+V23, 4b, 6, 6+20, 7, 7+22+23, 15, 18, 21, 27, 32, A, Exp1+Exp2, Pa1+Pa2+Pa3; в меньшей – p2+HVII, p3a+S+Ste+Ste2, p8, p8+19, p9, p2+9, p10, p10+Mor, p17, p25+7, pPr1+Pr2, pSD, pSU.

При оценке 43 перспективных и районированных сортов озимой пшеницы на искусственном инфекционном фоне популяции возбудителя желтой ржавчины выявлено 23 сорта (53,5 %), сочетающих расоспецифическую устойчивость с устойчивостью взрослых растений, 20 сортов (46,5 %) – с замедленным развитием болезни.

В условиях камеры искусственного климата определено наличие неспецифической устойчивости к *P. striiformis* у восьми сортов озимой пшеницы (Краснодарская 99, Кремона, Ласточка, Победа 50, Ростислав, Селянка, Соратница, Старшина, ЮМПА). Сорта Зимница, Иришка и Первица обладают специфической устойчивостью, сорт Паллада был восприимчив к закавказской популяции возбудителя желтой ржавчины.

Проведена иммунологическая оценка 587 сортообразцов пшеницы, ее редких видов и эгилопса из коллекции ВНИИР им. Н.И. Вавилова, из них 344 проявили устойчивость к закавказской популяции *P. striiformis*. Они представляют практическую ценность для селекции как генетически разнородные источники устойчивости к данному заболеванию.

Изучена реакция 16 близкоизогенных линий сорта Avocet, 29 сортов дифференциаторов международного, европейского, американского и дополнительного набора сортов с известными генами Yr в фазу всходов и колошения растений. Выявлено 10 высокоэффективных (2+3a+4a+Yam, 3a+4a+D+Dru+Dru2, 3b+4b+H46, 5, 32, Pr1+Pr2, SD+25, Sp, SP+25, Tye) и 16 эффективных (1 (в сорте Chinese 166), 2+6+НК, 2+HVII, 3a+4a+V23, 3a+4a+ND+12, 4b, 7+25, 8+19, 10+Mor, 15, 17, 24, 26, Exp1+Exp2, SU, Tr1+Tr2) генов Yr.

Установлено, что эффективной смесью сортов для снижения развития *P. striiformis* является соотношение Восторг (возрастная устойчивость) : Батько (неспецифическая устойчивость) = 4 : 1, подтвержденное биологическими, хозяйственными и экономическими расчетами.

Из трех индукторов болезнеустойчивости против возбудителя желтой ржавчины пшеницы наиболее эффективным является применение Фитохит-Г в фазу выхода растений в трубку в норме расхода 100 г/га на сортах с неспецифической устойчивостью к *P. striiformis* (типа Батько), что было подтверждено биологической, хозяйственной и экономической эффективностью.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ И СЕЛЕКЦИОННОЙ ПРАКТИКЕ

Производственной практике предложены:

- электронные карты распространения и развития возбудителя желтой ржавчины пшеницы в различных агроклиматических зонах Северного Кавказа для разработки прогноза развития заболевания, рационального сорторазмещения, защитных мероприятий;
- 23 сорта озимой пшеницы, сочетающие специфическую и возрастную устойчивость, 20 сортов с неспецифической устойчивостью;
- прием снижения развития возбудителя желтой ржавчины – смесь сортов со специфической и неспецифической устойчивостью в соотношении 4 : 1;
- производственные испытания индуктора болезнеустойчивости Фитохит-Г при норме расхода 100 г/га в фазу выхода растений в трубку.

Практической селекции юга России предложены:

- 23 источника расоспецифической и 20 – неспецифической устойчивости к возбудителю желтой ржавчины;
- 344 устойчивых коллекционных образца пшеницы, ее редких видов и *Ae. tauschii*;
- 26 эффективных Yr-генов и их комбинаций.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах, рекомендуемых ВАК РФ

1. Изучение генетического разнообразия растения-хозяина к закавказской популяции возбудителя желтой ржавчины пшеницы (*Puccinia striiformis* West. f.sp. *tritici* Erikss. et Henn.) / Ю.В. Шумилов, Г.В. Волкова, О.П. Митрофанова [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. Краснодар: КубГАУ. 2012. № 77 (03). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/03/pdf/35.pdf> (авт. вклад 60 %).
2. Шумилов, Ю.В. Эффективность прозаро против ржавчинных болезней / Г.В. Волкова, Ю.В. Шумилов, Е.В. Синяк // Защита и карантин растений. 2012. № 7. С. 20-21 (авт. вклад 30 %).
3. Шумилов, Ю.В. Желтая ржавчина пшеницы требует особого внимания / Ю.В. Шумилов, Г.В. Волкова // Защита и карантин растений. 2013. № 8. С. 13-14 (авт. вклад 70 %).

В прочих изданиях

4. Генетическая структура популяции возбудителя желтой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе в 2008 году / Г.В. Волкова, Л.С. Коваленко, Ю.В. Шумилов [и др.] // Материалы V Всерос. генетического съезда. Москва. 2009. С. 220 (авт. вклад 60 %).
5. Шумилов, Ю.В. Изучение отбора фенотипов и генов вирулентности возбудителя желтой ржавчины (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) на сортах озимой пшеницы / Ю.В. Шумилов, Г.В. Волкова // Материалы Всерос. конф. Большие Вяземы. 2009. С. 179-182 (авт. вклад 70 %).

6. Studying the Effects of Wheat Cultivars Genotypes on the Virulence Variability of *Puccinia striiformis* / G. Volkova, Y. Shumilov, L. Kovalenko [et al.] // Abstracts of 12th International Cereal Rusts and Powdery Mildews Conference. Antalia. 2009. P. 112 (авт. вклад 60 %).

7. Resistance to the yellow rust pathogen of winter soft wheat cultivars and effective genes of host plant on the South of Russia / G. Volkova, Y. Shumilov, L. Kovalenko [et al.] // Abstract of 4th Regional Yellow Rust conference. Antalia. 2009. P. 75 (авт. вклад 60 %).

8. Генетическая структура и изменчивость популяций возбудителей ржавчины пшеницы на Северном Кавказе / Г.В. Волкова, Л.К. Анпилогова, Ю.В. Шумилов [и др.] // Материалы конф. «Генетика и биотехнология». Минск. 2010. С. 116 (авт. вклад 30 %).

9. Wheat Genetic Resources Assessment and Application in the Selection for Disease Resistance and in Crop Production / G. Volkova, L. Anpilogova, Y. Shumilov [et al.] // Abstract of 8th International Wheat Conference. St.-Petersburg. 2010. P. 136-137 (авт. вклад 20 %).

10. Генетическая структура возбудителей желтой, бурой, стеблевой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе в 2011 году / Г.В. Волкова, Ю.В. Шумилов, Е.В. Си-няк [и др.] // Материалы III Всерос. и междунар. конф. «Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам». Санкт-Петербург. 2012. С. 127-129 (авт. вклад 30 %).

11. Скрининг коллекции генетических ресурсов пшеницы ВИР на устойчивость к возбудителям ржавчинных болезней / Г.В. Волкова, О.П. Митрофанова, Ю.В. Шу-милов [и др.] // Материалы III Вавиловской междунар. конф. «Идеи Н.И. Вавилова в современном мире». Санкт-Петербург. 2012. С. 84 (авт. вклад 30 %).

12. Эффективные гены устойчивости взрослых растений пшеницы к бурой, жел-той, стеблевой ржавчине и их использование в селекции на юге России / Г.В. Волко-ва, Ю.В. Шумилов, О.Ф. Ваганова [и др.] // Материалы 7-ой Междунар. науч.-практ. конф. «Современные мировые тенденции в производстве и применении биологиче-ских средств защиты растений». Краснодар. 2012. С. 320-323 (авт. вклад 30 %).

13. Каталог источников устойчивости мировой коллекции ВИР к возбудителям бурой, желтой, стеблевой видов ржавчины, пиренофороза и септориоза для технологии разработки сортимента сортов и гибридов пшеницы с групповой устойчивостью к вредным организмам, а также сортов озимой пшеницы, обладающих пониженным (на 30-50%) уровнем накопления тяжелых металлов, для использования на загрязненных территориях / Г.В. Волкова, Л.К. Анпилогова, Ю.В. Шумилов [и др.] // Каталог мировой коллекции ВИР. Санкт-Петербург. 2012. Вып. 807. 32 с. (авт. вклад 15 %).

14. Вирулентность ржавчины пшеницы на юге России / Г.В. Волкова, О.Ф. Ваганова, Ю.В. Шумилов [и др.] // Вестник Кыргызского национального аграрного университета. Бишкек. 2013. № 2 (29). С. 103-104 (авт. вклад 30 %).

15. Шумилов, Ю.В. Сортосмешанные посевы – эффективный прием управления популяциями возбудителей ржавчины пшеницы / Г.В. Волкова, Ю.В. Шумилов, О.Ф. Ваганова // Материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. «Агротехнический метод защиты растений от вредных организмов». Краснодар. 2013. С. 50-52 (авт. вклад 50 %).

16. Wheat rust virulence in southern Russia / G. Volkova, V. Nadykta, Y. Shumilov [et al.] // BGRI Workshop. New Delhi. 2013. P. 95 (авт. вклад 30 %).

17. Методические указания по изучению устойчивости сортов пшеницы к комплексу патогенов / Г.В. Волкова, О.Ю. Кремнева, Ю.В. Шумилов [и др.]. Краснодар. 2013. 43 с. (авт. вклад 20 %).