

И.Б. Аблова – доктор сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией;
Л.А. Беспалова – академик РАН, заведующая отделом;
Ф.А. Колесников - доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник;
Г.Д. Набоков - кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник;
В.Я. Ковтуненко - доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник;
В.А. Филобок - кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник;
Р.О. Давоян - доктор биологических наук, заведующий отделом;
Ж.Н. Худокормова - кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник;
Л.М. Мохова - кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник;
Ю.Г. Левченко - научный сотрудник;
А.С. Тархов - младший научный сотрудник;
ФГБНУ Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
им. П.П.Лукияненко (350012, Краснодарский край, г. Краснодар, Центральная
усадьба КНИИСХ, ablova@mail.ru)

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ СЕЛЕКЦИИ ПШЕНИЦЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К БОЛЕЗНЯМ В КНИИСХ ИМ. П.П.ЛУКЬЯНЕНКО

В статье изложены принципы, методы, а также результаты исследований по созданию сортов озимой пшеницы, устойчивых к наиболее распространенным и вредоносным болезням. Охарактеризованы множественные фитосанитарные риски, представляющие угрозу стабилизации валовых сборов зерна пшеницы. Представлены основные направления селекционно-иммунологических исследований в институте, материалы и методы, которые используются в селекции пшеницы на иммунитет. Обсуждены результаты комплексной иммунологической оценки сортов озимой пшеницы по устойчивости к бурой ржавчине. Молекулярный скрининг показал, что сорта озимой пшеницы, созданные в институте, обладают различными типами и генетически детерминированной природой устойчивости. Установлено, что в коммерческих сортах распространение получили слабоэффективные гены устойчивости *Lr1*, *Lr10*, *Lr26*, *Lr34* и их различные сочетания или «пирамиды». Представлена классификация сортов по степени поражения стеблевой ржавчиной, имеющая важное значение в селекции и для осуществления генетического мониторинга резистентности к болезни с целью оптимизации фитосанитарного состояния в пшеничных агрофитоценозах. Установлено, что наиболее эффективным методом создания сортов, резистентных к фузариозу колоса, является сложная ступенчатая гибридизация, направленная на пирамидирование генов

специфической и неспецифической устойчивости. Важным моментом селекционной работы является проведение многократных отборов в гибридных популяциях, начиная с F_2 , на фоне искусственного заражения. С использованием таких подходов создан и допущен к использованию в производстве новый сорт Уруп.

Ключевые слова: пшеница, селекция, сорт, линия, устойчивость к болезням, искусственное заражение, скрининг

И.Б. Аблова – доктор сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией;
Л.А. Беспалова – академик РАН, заведующая отделом;
Ф.А. Колесников - доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник;
Г.Д. Набоков - кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник;
В.Я. Ковтуненко - доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник;
В.А. Филобок - кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник;
Р.О. Давоян - доктор биологических наук, заведующий отделом;
Ж.Н. Худокормова - кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник;
Л.М. Мохова - кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник;
Ю.Г. Левченко - научный сотрудник;
А.С. Тархов - младший научный сотрудник;
ФГБНУ Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
им. П.П.Лукьяненко (350012, Краснодарский край, г. Краснодар, Центральная
усадьба КНИИСХ, ablova@mail.ru)

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ СЕЛЕКЦИИ ПШЕНИЦЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К БОЛЕЗНЯМ В КНИИСХ ИМ. П.П.ЛУКЬЯНЕНКО

В статье изложены принципы, методы, а также результаты исследований по созданию сортов озимой пшеницы, устойчивых к наиболее распространенным и вредоносным болезням. Охарактеризованы множественные фитосанитарные риски, представляющие угрозу стабилизации валовых сборов зерна пшеницы. Представлены основные направления селекционно-иммунологических исследований в институте, материалы и методы, которые используются в селекции пшеницы на иммунитет. Обсуждены результаты комплексной иммунологической оценки сортов озимой пшеницы по устойчивости к бурой ржавчине. Молекулярный скрининг показал, что сорта озимой пшеницы, созданные в институте, обладают различными типами и генетически детерминированной природой устойчивости. Установлено, что в коммерческих сортах распространение получили слабоэффективные гены устойчивости *Lr1*, *Lr10*, *Lr26*, *Lr34* и их различные сочетания или «пирамиды». Представлена классификация сортов по степени поражения стеблевой ржавчиной, имеющая важное значение в селекции и для осуществления генетического мониторинга резистентности к болезни с целью оптимизации фитосанитарного состояния в пшеничных агрофитоценозах. Установлено,

что наиболее эффективным методом создания сортов, резистентных к фузариозу колоса, является сложная ступенчатая гибридизация, направленная на пирамидирование генов специфической и неспецифической устойчивости. Важным моментом селекционной работы является проведение многократных отборов в гибридных популяциях, начиная с F_2 , на фоне искусственного заражения. С использованием таких подходов создан и допущен к использованию в производстве новый сорт Уруп.

В настоящее время селекция пшеницы на иммунитет является одним из приоритетных и актуальных направлений. Актуальность работы обусловлена сложной и нестабильной фитосанитарной обстановкой в интенсивных агрофитоценозах. Именно сорт, обладающий групповой или комплексной устойчивостью, рассматривается сегодня в качестве основного средообразующего фактора, на который направлено действие всех основных элементов технологий фитосанитарной оптимизации агроэкосистем [1].

На посевах озимой пшеницы в Краснодарском крае сложились свои специфические патоккомплексы. Наибольшее распространение и эпифитотийную опасность представляют листовые болезни (бурая и желтая ржавчины, желтая пятнистость или пиренофороз, септориоз, мучнистая роса). Прогрессирует развитие корневых и стеблевых гнилей различной этиологии, твердой головни, вирусных болезней, спорыньи. В отдельные годы, широкое распространение получает особо вредоносное заболевание - фузариоз колоса. При определенных погодных условиях фитопатогенный комплекс расширяется за счет возбудителей, вызывающих снежную плесень, фузариозный ожог листьев, чернь колоса и др.

Учитывая региональные множественные фитосанитарные риски, основными направлениями иммунологических исследований в институте являются:

- мониторинг фитосанитарного состояния посевов, изучение видовой и внутривидовой структуры популяций возбудителей;
- создание постоянно действующих в полевых условиях искусственных инфекционных и провокационных фонов по бурой, желтой, стеблевой ржавчинам, мучнистой росе, септориозу, фузариозу колоса и твердой головне, наиболее полно дифференцирующих изучаемый материал по устойчивости к болезням, совершенствование методов инокуляции растений, оценок и отборов;
- скрининг сортов, селекционного материала на устойчивость к болезням на искусственных инфекционных фонах;
- изучение генофонда пшеницы отечественной и зарубежной селекции, выявление источников устойчивости и создание на их основе доноров с комплексной

резистентностью к патогенам;

- изучение эффективности генов устойчивости пшеницы к возбудителям болезней в разные фазы вегетации растения-хозяина;

- идентификация генов устойчивости к фитопатогенам у сортов, селекционных линий, коллекционных образцов с использованием молекулярного маркирования.

Разработанная нами технология селекции пшеницы на устойчивость к комплексу болезней, включает оптимальную систему иммунологических оценок и отборов, которая органично вписывается в схему селекционного процесса. Схема предусматривает наличие автономных искусственных инфекционных фонов по ряду болезней, одновременное тестирование материала в географических точках на естественном инфекционном фоне. Искусственные инфекционные фоны создаются по общепринятым в институте и мировой науке методикам, а также применяются методы, разработанные или усовершенствованные нами.

В селекции на устойчивость к болезням используются традиционные методы: внутривидовая и отдаленная (межвидовая, межродовая) гибридизация; индивидуальный и массово-индивидуальный отбор иммунологически-ценных форм на жестких инфекционных фонах, отбор с использованием молекулярных маркеров. В качестве исходного материала привлекаются эколого-географически отдаленные источники и доноры устойчивости, высоко адаптивные сорта и линии собственной селекции, геномно-добавленные и геномно-замещенные синтетические формы, созданные отделом биотехнологии института. Для создания генетически разнообразного исходного материала и сортов, с различной генетически детерминированной природой устойчивости к комплексу болезней мы привлекаем гены, контролирующие устойчивость к трем видам ржавчины, мучнистой росе, фузариозу колоса, твердой головне. В настоящее время в нашем арсенале более 30 генов устойчивости к болезням: *Lr9*, *Lr10*, *Lr19* (*Sr25*), *Lr21*, *Lr24* (*Sr24*), *Lr28*, *Lr34* (*Yr18*, *Pm38*), *Lr37* (*Yr17*, *Sr38*), *Lr38*, *Lr39*, *1BL/1RS* (*Lr26*, *Yr9*, *Sr31*, *Pm8*), *Yr10*, *Sr36*, *Sr2*, *Sr35*, *Fhb1*, *Fhb2*, *Qfhs.ifa-5A*, *BtZ*, *Bt8*, *Bt9*, *Bt10*.

Ежегодно на искусственных инфекционных и провокационных фонах изучается по устойчивости к наиболее распространенным и вредоносным болезням большое количество материала, представленного сортами, селекционными линиями конкурсных сортоиспытаний, образцов мирового генофонда. В распоряжении селекционеров имеется рабочая коллекция озимой и яровой пшеницы (мягкой и твердой), тритикале, которая насчитывает около 3500 образцов из 55 стран мира. Она постоянно пополняется новыми генотипами, изучается по адаптивно значимым признакам и широко используется в селекционных программах.

Образцы мирового генофонда изучаются по устойчивости к наиболее вредоносными болезнями при искусственном заражении и на естественном инфекционном фоне (таблица 1).

Таблица 1 - Дифференциация образцов мирового генофонда пшеницы по устойчивости к болезням, искусственные инфекционные фоны, КНИИСХ, 2009-2011 гг.

Название болезни	Изучено, шт.	Соотношение по группам устойчивости, %			
		У*	СУ	СВ	В
Фузариоз колоса	1360	4,4	7,8	13,2	74,6
Твердая головня	710	4,3	8,9	21,5	64,3
Септориоз	1670	16,4	22,7	28,3	27,6
Мучнистая роса	1670	14,3	25,7	33,1	26,9
Бурая ржавчина	1890	10,1	16,9	27,1	46,9
Желтая ржавчина	1300	13,5	23,5	6,2	55,8
Стеблевая ржавчина	630	8,1	24,5	11,5	55,9

У – устойчивые; СУ – среднеустойчивые; СВ – средневосприимчивые; В – восприимчивые

Анализ показал, что доля устойчивых генотипов варьирует в пределах от 4 до 16%. Не все образцы подтверждают устойчивость в условиях Краснодар при многолетнем изучении. Ограниченное количество надежных доноров и генетически разнородных источников является одной из наиболее острых проблем селекции на устойчивость к болезням.

Комплексная иммунологическая оценка сортов по устойчивости к бурой ржавчине позволила распределить их на пять групп в зависимости от величины латентного периода, типа реакции на внедрение патогена, степени поражения на естественном и искусственном инфекционном фонах, площади под кривой развития болезни: устойчивые, среднеустойчивые, с полевой устойчивостью, средневосприимчивые, восприимчивые. Устойчивые сорта характеризуются наибольшей продолжительностью латентного периода (16-18 дней), устойчивым и умеренно устойчивым типом реакции (R, MR), степень поражения листа на искусственном инфекционном фоне не превышает 20%. В эту группу входят Васса, Веда, Вершина, Дока, Иришка, Краля, Курень, Лебедь, Лига 1, Ольхон, Юка, ЮМПА, Юнона и др.

Среднеустойчивые сорта обладают умеренно устойчивым типом реакции (MR), степень поражения листа при искусственном заражении варьирует от 20 до 30%. К этой группе относятся Айвина, Бригада, Кума, Лауреат, Табор, Творец, Трио, Утриш, Этнос и др.

В группу сортов с полевой устойчивостью входят сорта с умеренно восприимчивым типом реакции на внедрение патогена (MS). В условиях естественного инфекционного

фона интенсивность поражения достигает 30%, при искусственной инокуляции в отдельные годы она близка 60%. Период скрытого течения болезни составляет 12-14 суток. Представителями этой группы сортов являются Афина, Виза, Грация, Дмитрий, Доля, Есаул, Зимница, Калым, Москвич, Первица, Протон, Сила, Таня, Фортуна и др.

В настоящее время иммунологическое тестирование сортов дополняется молекулярными методами идентификации *Lr*-генов. Современная селекция предусматривает обязательное включение молекулярного скрининга для идентификации генов. Следует отметить, что только комплексное использование фитопатологических и молекулярных подходов позволяет с высокой достоверностью охарактеризовать генетическую детерминацию устойчивости у изучаемого материала [2]. В настоящее время в отделе биотехнологии института осуществляется работа по идентификации генов устойчивости к бурой ржавчине и другим болезням с использованием молекулярного маркирования. Молекулярный анализ проводили на наличие генов: *Lr1*, *Lr9*, *Lr10*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr26*, *Lr34*, *Lr37*, *Lr39*. Анализ показал, что сорта озимой пшеницы, созданные в институте, обладают различными типами и генетически детерминированной природой устойчивости. Установлено, что в коммерческих сортах отсутствуют гены, эффективные в большинстве регионов страны: *Lr9*, *Lr24*. Распространение получили слабоэффективные гены устойчивости *Lr1*, *Lr10*, *Lr26*, *Lr34* и их различные сочетания или «пирамиды». Впервые в РФ создан сорт Морозко, высокая устойчивость которого детерминирована среднеэффективным геном возрастной устойчивости *Lr37* в комбинации с геном *Lr26*. Следует отметить, что в условиях Краснодарского края хороший эффект по устойчивости к бурой ржавчине показывают комбинации генов *Lr10+Lr26+Lr34*, *Lr26+Lr34*, *Lr10+Lr26*, *Lr10+Lr34*, *Lr26+Lr37*.

В настоящее время селекция проводится одновременно на основе разных источников с широким использованием иностранных сортов, обладающих разными генами и типом устойчивости (ТАМ 200, Arapachoe, SW Tataros, Striker, Midas, MV Vekni, Kapchorn, Alkazar, KS93U62 и др.). На всех этапах селекционного процесса создан и изучается новый селекционный материал с комплексом эффективных генов устойчивости к болезням. Линии с пирамидами генов (*Lr19+Lr9*, *Lr24+Lr37*, *Lr24+Lr19*, *Lr37+Lr26*, *Lr37+Lr26+Lr34* и др.), полученные с использованием новых методов молекулярного отбора, широко вовлекаются в гибридизацию.

Среди большого генетического разнообразия современных сортов селекции института по результатам изучения в полевых условиях на искусственном инфекционном фоне 23 сорта озимой мягкой пшеницы проявляют устойчивость к краснодарской

популяции возбудителя стеблевой ржавчины. Высокой устойчивостью к *Puccinia graminis* обладают Айвина, Афина, Васса, Веда, Вита, Восторг, Дока, Иришка, Коллега, Красота, Курень, Ласточка, Паллада, Утриш, Фортуна. По результатам тестирования краснодарских сортов по устойчивости к *Ug99* в 2006 году в международном питомнике, который находится в Кении, отличные результаты показали сорта Красота, Крошка, Юбилейная 100, Старшина, Безостая 1.

В настоящее время активизирована работа по изучению генетики устойчивости сортов к возбудителю стеблевой ржавчины, в том числе и современными молекулярно-генетическими методами.

При проведении ПЦР - анализа с использованием молекулярных маркеров ген *Sr31* выявлен у 21 сорта озимой мягкой пшеницы из 59, что составляет 35,6% от общего количества изученных генотипов. При искусственном заражении они обладают широким спектром реакций на *P. graminis*: от высокоустойчивых (Васса, Дока, Иришка, Утриш, Фортуна и др.) до восприимчивых (Вершина, Таня и др.). Есть сорта со средним уровнем выраженности признака (Первица, Юка), которого достаточно для сдерживания возможных эпифитотий. Ген *Sr25*, эффективный против расы *Ug99*, идентифицирован у сорта Паллада; ген *Sr31* установлен у сортов Аврора, Айвина, Васса, Вершина, Восторг, Иришка, Кавказ, Курень, Красота и др.

В последние годы проблема фузариоза колоса и загрязнения зерна микотоксинами признана всем мировым сообществом. Растет интерес к проблеме фузариоза и в России, в т.ч. на Северном Кавказе. Имеются бесспорные доказательства опасности микотоксинов для здоровья человека и животных. Химическими средствами защиты проблема решается не полностью. По данным Иващенко В.Г. и др. (2004), детоксикация зерна не дает ощутимого эффекта, а биологическая эффективность фунгицидов не превышает 50-60% [3]. Приоритет в борьбе с фузариозом колоса принадлежит генетическому методу защиты в сочетании с агротехническим.

В институте ведется многолетняя масштабная селекционная работа по выведению новых устойчивых сортов озимой пшеницы к фузариозу колоса. Опыт мировых достижений и наши исследования показали, что использование в селекционных программах доноров и источников специфической устойчивости не позволило получить высокопродуктивные сорта с высокой резистентностью. Приоритет в селекции на устойчивость к фузариозу колоса принадлежит созданию сортов, сочетающих высокую продуктивность и общую адаптивность, с повышенной сопротивляемостью к болезни. Такие сорта созданы и выявлены на этапе работы по изучению взаимодействия генотип сорта - *Fusarium graminearum* в условиях искусственной инокуляции. Результаты наших

исследований позволили установить селекционный сдвиг при выведении фузариозоустойчивых сортов, дифференцировать сорта на кластеры согласно степени и типу устойчивости к болезни. Анализ показал, что среди сортов последней сортосмены (2009-2015 гг.) на долю фузариозоустойчивых приходится более 20% от общего количества, это такие как Адель, Афина, Баграт, Курс, Сила, Творец, Уруп, Юка.

Установлено, что наиболее эффективным методом создания сортов, резистентных к фузариозу колоса, является сложная ступенчатая гибридизация, направленная на пирамидирование генов специфической и неспецифической устойчивости. Наилучшие результаты получены при использовании в качестве реципиентов устойчивых или умеренно устойчивых сортов и линий, адаптированных к местным условиям. Важным моментом селекционной работы является проведение многократных отборов в гибридных популяциях, начиная с F_2 , на фоне искусственного заражения.

Во многих странах в качестве родительских компонентов используют всемирно известные доноры специфической устойчивости – *Sumai 3* и его производные. Нам удалось создать новый сорт Уруп на базе собственных источников, устойчивость которого на фоне высокой инфекционной нагрузки соответствует лучшему в мире индикатору резистентности - *Sumai 3*. Высокая эффективность систем самозащиты нового сорта от фузариоза колоса получила подтверждение при многолетнем испытании по предшественнику кукуруза на зерно на Кочубеевском ГСУ Ставропольского края, расположенного в зоне, насыщенной посевами кукурузы, и в которой погодные условия ежегодно благоприятствуют развитию и распространению фузариоза колоса. отличные результаты сорт показывает при искусственном заражении ржавчинами бурой и желтой), септориозом и мучнистой росой (таблица 2). Сорт Уруп в 2015 году включен в Госреестр селекционных достижений РФ, допущенных к использованию в производстве

Таблица 2 – Иммунологическая характеристика сорта Уруп, КНИИСХ, КСИ, 2013-2015 гг.

Название болезней	Уруп	Память, ст.
Ржавчина бурая, %, тип реакции	5 R*	70 S
Ржавчина желтая, %	20 R	50 MS
Септориоз, %, балл	20/5 R	47/7 MS
Мучнистая роса, %, балл	15/5 R	33/5 MS
Фузариоз колоса/зерна, балл	3/2,5 R	6/4 MS

R – устойчивость; MS – умеренная восприимчивость; S - восприимчивость

Большой интерес представляют новые фузариозоустойчивые селекционные линии, которые могут служить надежными донорами устойчивости к фузариозу колоса: 5915h14,

6355h18, 05-59a69, 08-309a33, 2149k11-1, 2140k64-3, 251-06f18, 170-03f3, 199-05f34, 5-09kf39, 2-09kf21 и др. Привлечение их в гибридизацию облегчит отбор желаемых генотипов.

Результаты иммунологического скрининга сортов при искусственном заражении в полевых условиях популяцией возбудителя *Septoria tritici* позволили классифицировать их по устойчивости. Лучшими, созданными на разных этапах селекции, являются: Краснодарская 6, Соратница, Лира, Дельта, Дея, Творец, Юка, Афина, Доля, Адель – это среднерослые сорта. В группу устойчивых входит и полукарликовый сорт Калым, что свидетельствует о возможности преодоления отрицательной корреляционной зависимости между высотой и степенью поражения септориозом, а также о значительном селекционном прогрессе при создании низкорослых септориозоустойчивых сортов. Устойчивость сорта Калым генетически детерминирована и перенесена от устойчивого сорта Дея, который является одной из родительских форм в последнем скрещивании.

Селекция септориозоустойчивых сортов осложнена широкой специализацией возбудителей, высокой вариабельностью экспрессии генов устойчивости под воздействием среды. Поэтому приоритетным направлением является выведение сортов с высокой толерантностью к септориозу.

На основе разработанной нами технологии селекции на устойчивость к болезням, которая широко апробирована и применяется в институте, достигнуты успехи в повышении резистентности сортов к наиболее распространенным и вредоносным болезням. Большая совместная работа селекционеров и иммунологов дает реальную возможность обеспечить сельхозтоваропроизводителей сортами озимой пшеницы, обладающими различной генетически обусловленной основой резистентности и толерантности к фитопатогенам, что способствует оптимизации фитосанитарного состояния и позволяет противостоять возникновению эпифитотий.

Литература

1. Долженко В.И., Силаев А.И. Защита растений: состояние, проблемы и перспективы их решения в зерновом производстве/АГРО XXI, 2010, №7-9, с.3-5.
2. Гулятьева Е.И. Методы идентификации генов устойчивости пшеницы к бурой ржавчине с использованием ДНК-маркеров и характеристика *Lr*-генов. ВИЗР. – СПб., 2015. – 71с.
3. Иващенко В.Г., Шипилова Н.П., Назаровская Л.А. Фузариоз колоса хлебных злаков. ВИЗР. – СПб., 2004. – 164с.

Литература

1. Долженко В.И., Силаев А.И. Защита растений: состояние, проблемы и перспективы их

решения в зерновом производстве/АГРО XXI, 2010, №7-9,с.3-5.

2. Гульятеева Е.И. Методы идентификации генов устойчивости пшеницы к бурой ржавчине с использованием ДНК-маркеров и характеристика *Lr*-генов. ВИЗР. – СПб., 2015. – 71с.

3. Иващенко В.Г., Шипилова Н.П., Назаровская Л.А. Фузариоз колоса хлебных злаков. ВИЗР. – СПб., 2004. – 164с.