

УДК 632.4:633.11:632.938.1

# НАУЧНО ОБОСНОВАННЫЕ ЭТАПЫ ИММУНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РЖАВЧИНОУСТОЙЧИВЫХ СОРТОВ ПШЕНИЦЫ\*

Л.К. Анпилогова, Г.В. Волкова, О.Ф. Ваганова, Ю.В. Авдеева,  
Всероссийский НИИ биологической защиты растений

Интенсификация растениеводства в современных условиях предусматривает создание генотипов сельскохозяйственных культур, характеризующихся не только высокой продуктивностью, но и устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам окружающей среды. Однако в России в настоящее время насыщенность посевных площадей устойчивыми генотипами составляет от 7 до 11%, что примерно в 10 раз ниже мирового уровня [1]. Для достижения оздоровления и стабилизации фитосанитарного состояния агробиоценозов необходимо на базе широкого генетического разнообразия вести селекцию устойчивых сортов, способных дать максимальный экономический эффект.

На юге России ведущее место в севооборотах хлебных злаков занимает озимая пшеница. Эта культура подвержена воздействию комплекса фитопатогенов, среди которых превалирует опасный в эпифитотийном плане возбудитель бурой ржавчины *Puccinia triticina* Rob. et Desm. *F. sp. Tritici* Eriks. et Henn.

Успех селекции новых сортов к этому заболеванию зависит от целого ряда факторов. Необходимы:

- постоянный мониторинг внутривидовой структуры *P. triticina* на данной территории с целью учета частот встречаемости фенотипов вирулентности и их динамики (сотрудники лаборатории иммунитета зерновых культур к грибным болезням ВНИИБЗР уделяют этим исследованиям должное внимание, вовремя отслеживая все происходящие изменения в северокавказской субпопуляции патогена [2—6]);

- обоснование состава искусственного инфекционного фона и оценка коллекционных сортообразцов пшеницы, ее диких сородичей из мировой коллекции ВИР с целью отбора исходного материала, устойчивого к возбудителю бурой ржавчины (и к группе патогенов) [7, 8];

- идентификация генов устойчивости к фитопатогену в образцах исходного материала и перспективных сортах пшеницы с помощью гибридологического анализа, фитопатологического тестирования или молекулярного маркирования [9—11];

- изучение эффективности генов устойчивости пшеницы к возбудителю бурой ржавчины в разные фазы вегетации растения-хозяина [12].

Ежегодные обследования посевов пшеницы в Северо-Кавказском регионе позволили нам проводить сбор образцов уединеноспор *P. triticina* на производственных полях и госсортоучастках и изучать генетическую структуру популяции гриба. Вирулентность культур описывали по реакции всходов 38 близкородственных линий серии *Thatcher*, выращенных на гидропонике. Оценка поражения растений осуществляли по балльной шкале (Mains, Jackson, 1926), описание фенотипов гриба — по методике Green (1965).

При иммунологической оценке сортов и коллекционных образцов пшеницы в полевых условиях использовали искусственную популяцию гриба, представленную разнообразием фенотипов со всеми известными в регионе генами вирулентности. Основными фитопатологическими критериями устойчивости сортообразцов являлись тип реакции растений в баллах (шкала Mains, Jackson, 1926); начальная

и конечная степень поражения в процентах (Peterson et al., 1948); площадь под кривой развития болезни в условных единицах и снижение массы 1000 зерен в процентах (Бабаянц и др., 1988).

Для идентификации генов устойчивости в образцах пшеницы использовали широко применяемый метод гибридологического анализа. Эффективность 45 известных нам генов устойчивости Lr (Leaf rust) к северокавказской субпопуляции *P. triticina* изучали в фазах всходов (в теплице) и колошения растений (в ржавчинном питомнике института инфекционной нагрузки — 10 мг/м<sup>2</sup>), характеризуя качественные и количественные параметры реакции растения-хозяина.

Возбудитель бурой ржавчины пшеницы *Puccinia triticina* Rob. et Desm. *F. sp. tritici* Eriks. et Henn., как и другие ржавчинные грибы, характеризуется активным формообразованием, приводящим к появлению новых фенотипов с разным сочетанием генов вирулентности. Поэтому важное место в наших исследованиях, помимо изучения внутривидовой структуры патогена, занимает ежегодный контроль за экспрессивностью известных генов устойчивости растения-хозяина и возможностью их использования в селекции новых сортов.

В табл. 1 показана частота вирулентных изолятов популяции гриба, собранной на территории Северного Кавказа (в Краснодарском, Ставропольском краях и Ростовской обл.) в 2005—2006 гг.

Эти данные свидетельствуют, что на юге России большинство ювенильных генов устойчивости неэффективны против возбудителя болезни. Однако абсолютную устойчивость длительное время продолжают контролировать гены Lr9 и Lr19, переданные в пшеницу от *Aegilops umbellulata* и *Thinopyrum ponticum* соответственно. К недавно приобретенным нами линиям — носителям генов Lr41, Lr42, Lr43 (источник *T. tauschii*) и LrW (*T. speltoides*) в 2005—2006 гг. также не было выделено вирулентных клонов. Низкий процент клонов выявлен к линиям Lr24, Lr29 (*Thinopyrum ponticum*), Lr38 (*Thinopyrum intermedium*) и Lr45 (*Secale cereale*).

Следовательно, указанные гены способны сдерживать развитие инфекции на раннем этапе онтогенеза растения-хозяина и могут быть использованы в селекционной практике. Если сравнить сложившуюся ситуацию в популяции, например, 2001 г., то в этот период следует увеличение в 2—5 раз количества изолятов, вирулентных в ювенильной стадии к линиям-носителям генов Lr: 2a, 18, 20, 23, 26, 28, B [12]. Эти сведения указывают на необходимость контроля за поведением генов расоспецифической устойчивости и своевременной их заменой.

Результаты 3-летних исследований эффективности генов устойчивости пшеницы во взрослом состоянии растений на жестком инфекционном фоне представлены в табл. 2.

Согласно проведенной оценке, гены ранжированы по типу реакции и степени поражения растений следующим образом:

- высокоэффективные ювенильные гены Lr, проявляющие устойчивость в фазе колошения (иммунный тип

\* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта МНТЦ №3036 и гранта РФФИ №08-04-90261

реакции): 9, 19, 25, 38, 42, 43, 45 (15,6% из 45 изученных);

— эффективные — 1, 1(2) балла, степень 1—10%

— ювенильные гены Lr: 17, 23, 24, 29, 36, 41; гены взрослых растений Lr: 12, 22а, 35, 37 (22,2%);

— умеренно эффективные — 2 и 3 балла, 11—30% — ювенильные гены Lr: 18, 21, 32, 39, 44, W; ген взрослых растений Lr13 (15,5%);

**Таблица 1. Процент клонов *P. triticina*, вирулентных к близкородственным линиям пшеницы в фазе всходов (2005–2006 гг.)**

Гены Lr	Генетическое происхождение линий	Вирулентные изоляты, %	
		2005 г.	2006 г.
1	Centenario /6* Tc*	22	39
2a	Webster/6* Tc	31	43
2c	Tc*6/Loros	50	69
3	Democrat/6* Tc	41	87
3ka	Tc*6/Klein Aniversario	31	63
3bg	Tc*6/Bage	31	18
9	Tc*6/Transfer	0	0
10	Exchange/6*Tc	40	78
11	Tc*6/Hussar	56	73
14a	Selkirk/6*Tc	35	76
14b	Maria Escobar/6* Tc	60	72
15	Tc*6/Kenya W1483	17	8
16	Exchange/6* Tc	25	72
17	Klein Lucero/6*Tc	36	83
18	Africa 43/7* Tc	50	89
19	Tc*7/T4Ag.elongatum	0	0
20	Tc*6/Timmo	9	21
21	Tc*6/Tetra Canthatch	1	31
23	Lee FL310/6*Tc	16	80
24	Tc*6/Agent	4	0
25	Transec	13	38
26	Tc*6/ST 1.25	64	77
28	Tc*6/C.77.1	55	70
29	Tc*6/CS7D/Ag.#11	3	1
30	Tc*6/Terenzio	37	75
32	Tc*6/3/Ae.squarrosa	1	17
33	Tc*6/P.I.58548	37	75
36	Neepawa*5/T.speltoides-2-7	9	31
38	Tc*^/TMR-S74-12-24	9	0
39	KS86WGRC02	4	13
40	KS89WGRC07	50	52
41	TAM107*3/T.tauschii	0	0
42	Century *3/T.tauschii TA2450	0	0
43	TAM-200	0	0
44	Tc*6/T.spelta 7831	15	16
45	Tc*7/ST-1	2	1
B	Tc*6/Carina	15	59
W	Tc*6/V336	0	0

\*Tc - Thatcher

**Таблица 2. Результаты оценки близкородственных линий пшеницы сорта Тетчер на устойчивость к *P. triticina* в фазе колошения (ржавчинный питомник ВНИИБЗР, 2004–2006 гг.)**

Гены Lr	Генетическое происхождение линий	Тип реакции растений, балл			Степень поражения, %		
		2004	2005	2006	2004	2005	2006
1	Centenario /6* Tc*	3	3	2–3	70	90	40
2a	Webster/6* Tc	2–3	2–3	1–2	70	90	40
2b	Tc*6/Carina	3(2)	2–3	2–3	80	70	50
2c	Tc*6/Loros	3	3	2–3	90	80	60
3	Democrat/6* Tc	3	3	3	90	100	60
3ka	Tc*6/Klein Aniversario	3	2–3	3	70	80	50
3bg	Tc*6/Bage	3	3	3	100	90	70
9	Tc*6/Transfer	0	0	0	0	0	0
10	Exchange/6*Tc	3	3	3,4	100	90	80
11	Tc*6/Hussar	3	3	3	60	70	70
12	Exchange/6*Tc	1(2)	1	1(2)	10	5	1
13	Tc*7/Frontana	1(2)	1–2	1–2	20	40	30
14a	Selkirk/6*Tc	3	3	3(2)	90	90	70
14b	Maria Escobar/6* Tc	2–3	3	2–3	70	70	70
15	Tc*6/Kenya W1483	2–3	3	2–3	70	80	70
16	Exchange/6* Tc	3	3	3(2)	80	90	90
17	Klein Lucero/6*Tc	1	1	1	10	10	5
18	Africa 43/7* Tc	1	1(2)	1–2	20	30	20
19	Tc*7/T4Ag.elongatum	0	0	0;1	0	0	ЕП**
20	Tc*6/Timmo	2	2–3	3	60	80	60
21	Tc*6/Tetra Canthatch	1	1–2	2	15	30	30
22a	Tc*6/RL5404	1	1	1	15	10	10
23	Lee FL310/6*Tc	1	1	1	5	1	10
24	Tc*6/Agent	1	1	0;1	5	1	1
25	Transec	0	0	0	0	0	0
26	Tc*6/ST 1.25	3	3	3	80	60	60
28	Tc*6/C.77.1	R:S***	R:S***	R:S***	R:S***	R:S***	R:S***
29	Tc*6/CS7D/Ag.#11	1	1	0;1	ЕП**	5	ЕП**
30	Tc*6/Terenzio	1	3	1–2	30	100	30
32	Tc*6/3/Ae.squarrosa	1	1(2)	2–3	30	20	30
33	Tc*6/P.I.58548	3	3	3	80	80	70
34	Tc*6/P.I.58548	2–3	2–3	3	40	70	60
35	Tc*6/RL5711	1	1	1	3	2	1
36	Neepawa*5/T.speltoides	1	1	1	1	1	ЕП**
37	Tc*8/VPM1	1	1	1	5	6	1
38	Tc*^/TMR-S74-12-24	1	0	0	1	0	0
39	KS86WGRC02	1	2	1	1	20	10
40	KS89WGRC07	1	3	4	10	60	70
41	TAM107*3/T.tauschii	—	1	0	—	1	1
42	Century *3/T.tauschii TA2450	—	0	0	—	0	0
43	TAM-200	—	0	0	—	0	0
44	Tc*6/T.spelta 7831	1(2)	1	1(2)	20	10	30
45	Tc*7/ST-1	—	0	0	—	0	0
Tc	Thatcher (контроль)	3	3	3–4	80	80	90
B	Tc*6/Carina	3	3	3	70	80	60
W	Tc*6/V336	1	1	1	5	20	5

\*Tc - Thatcher;

\*\* - единичные пустулы;

\*\*\* - расщепление на устойчивые и восприимчивые формы

— неэффективные — 3 и 4 балла, свыше 30 % — ювенильные гены Lr: 1, 2a, 2b, 2c, 3 (=3a), 3ка, 3bg, 10, 11, 14a, 14b, 15, 16, 20, 26, 28, 30, 33, 40, B и ген взрослых растений 34 (46,7%).

Итак, для селекции пшеницы на устойчивость к возбудителю бурой ржавчины в Северо-Кавказском регионе рекомендуются с условием постоянной ротации высокоэффективные и эффективные гены, перечисленные выше. Особо следует выделить ювенильные гены расоспецифической устойчивос-

ти, способные противостоять болезни на протяжении всего периода вегетации растений: Lr9, Lr19, Lr24, Lr29, Lr38, Lr41, Lr42, Lr43, Lr45, переданные мягкой пшенице от диких форм. Однако успех селекции на длительную устойчивость к ржавчинным грибам, обладающим значительным запасом изменчивости, может быть достигнут только на базе широкого генетического разнообразия исходного материала с учетом внутривидовой дифференциации возбудителей и тенденции происходящих изменений. 

## НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫЕ ЭТАПЫ ИММУНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РЖАВЧИНОУСТОЙЧИВЫХ СОРТОВ ПШЕНИЦЫ SCIENCE-BASED IMMUNOLOGIC STUDY STAGES, REQUIRED FOR THE DEVELOPMENT OF RESISTANT WHEAT CULTIVARS

Л.К. Анпилогова, Г.В. Волкова, О.Ф. Ваганова, Ю.В. Авдеева  
L.K. Anpilogova, G.V. Volkova, O.F. Vaganova, Yu.V. Avdeeva

### Резюме

Рассмотрены этапы иммунологических исследований в плане создания сортов пшеницы, устойчивых к ржавчинным патогенам. Большое внимание уделено вопросу изучения внутривидовой структуры *P. triticina f. tritici*, отбора исходного селекционного материала с широкой генетической основой и экспрессивности известных генов устойчивости растения-хозяина в разные фазы вегетации.

### Summary

Immunologic study stages for the development of the wheat cultivars, resistant to rust pathogens, were examined. The problems of *P. triticina f. tritici* population structure studies, as well as the selection matters of the initial breeding material with wide genetic base, and also the expressivity of certain host plant resistance genes in different vegetative stages, were attended.

### Ключевые слова

возбудитель бурой ржавчины, вирулентность, эффективные гены, устойчивые сорта

### Key Words

brown rust pathogene, virulence, active genes, resistant cultivars

### Литература

- 1 Вилкова Н.А. Научное обоснование параметров иммунологической системы растений для создания генотипов с групповой и комплексной устойчивостью. В сб. Иммунологические методы повышения сопротивляемости агроценозов к стрессовым воздействиям биогенного характера. Научно-обоснованные параметры конструирования сортов с.-х. культур. Москва-Санкт-Петербург, РАСХН, 2005.-С.8-17.
- 2 Анпилогова Л.К., Волкова Г.В., Ваганова О.Ф., Шаповалова О.Ю. Иммунологические основы защиты озимой пшеницы от бурой ржавчины в Краснодарском крае. Наука Кубани, 2000.-№5(Ч.2).-С.25-29.
- 3 Анпилогова Л.К., Волкова Г.В., Панайотиди О.Ю., Ваганова О.Ф. Основы генетической защиты озимой пшеницы от бурой ржавчины в Краснодарском крае / В сб. Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. Материалы докладов международной научно-практической конференции 29 сентября-1 октября 2004 г.-Краснодар, 2004.-Вып.2.-С.143-152.
- 4 Анпилогова Л.К., Панайотиди О.Ю., Волкова Г.В., Дерова Т.Г. Внутривидовая структура возбудителя бурой ржавчины в основных зонах возделывания пшеницы на юге России / В сб. Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. Материалы докладов научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Е.М.Степанова (1902-2002), 8-9 октября 2002 г.-Краснодар, 2004.-Вып.1.-С.334-340.
- 5 Волкова Г.В., Анпилогова Л.К., Алексева Т.П., Быкова Т.С. Популяционно-генетические исследования в патосистеме «пшеница-возбудители ржавчины» для усиления селекции на устойчивость в условиях Северного Кавказа. Сборник «Достижения, направления развития с.-х. науки России (селекция, семеноводство, технология, экономика)». -Зерноград, 2005.-ч.3.-С.321-325.
- 6 Волкова Г.В., Анпилогова Л.К. Структура популяции возбудителей бурой и желтой ржавчины пшеницы по признаку вирулентности и эффективность генов устойчивости растения-хозяина на юге России. Материалы международной научно-практической конференции «Технология создания биологических средств защиты растений на основе энтомофагов, энтомопатогенов, микробов-антагонистов и применение их в открытом и закрытом грун-тах, 20-22 сентября 2006.-Краснодар, С.425-432.
- 7 Анпилогова Л.К., Волкова Г.В. Методы создания искусственных инфекционных фонов и оценки сортообразцов пшеницы на устойчивость к вредоносным болезням (фузариозу колоса, ржавчинам, мучнистой росе).- РАСХН, ВНИИБЗР. Краснодар, 2000.-28с.
- 8 Волкова Г.В., Анпилогова Л.К., Андропова А.Е., Кремнева О.Ю., Ко-валенко Л.С., Ваганова О.Ф. (ВНИИБЗР); Митрофанова О.П., Ляпунова О.А., Зуев Е.В., Хакимова А.Г., Чикида Н.Н. (ВИР). Источники устойчивости из коллекции пшеницы ВИР к возбудителям бурой и желтой ржавчины, пиренофороза и септориоза для разработки технологии создания сортов и гибридов пшеницы с групповой устойчивостью к вредным организмам. Каталог. Санкт-Петербург, 2008.-В печати.
- 9 Анпилогова Л.К., Волкова Г.В., Панайотиди О.Ю., Ваганова О.Ф. Генетика устойчивости 12 сортов озимой пшеницы к возбудителю бурой ржавчины. Доклады РАСХН.-2004.-№1.-С.10-13.
- 10 Гончарова Р.Х., Анпилогова Л.К. Наследование у сортов пшеницы устойчивости к возбудителю бурой ржавчины/ Биологические науки, 1991. №1.-С.105-112.
- 11 Коваленко Е.Д., Коломиец Т.М., Жемчужина А.И., Кисилева М.И., Соломатин Д.А. Отбор исходного материала для селекции устойчивых сортов пшеницы к бурой ржавчине – *Puccinia triticina* Eriks./ В сб. Иммуногенетические методы повышения сопротивляемости агроценозов к стрессовым воздействиям биогенного характера. Научно обоснованные параметры конструирования сортов сельскохозяйственных культур. Москва-Санкт-Петербург. РАСХН, 2005.-С.37-44.
12. Панайотиди О.Ю. Эффективность генов устойчивости пшеницы к возбудителю бурой ржавчины на юге России / В сб. Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. Материалы докладов научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Е.М.Степанова (1902-2002), 8-9 октября 2002 г.- Краснодар, 2004.-Вып.1.-С.341-346.