

УДК 577.21:633.11:632.937.14

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРУЛЕНТНОСТИ *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. syn.: *Puccinia triticina* Erikss. В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

© 2014 г. Л.Г. Тырышкин<sup>1</sup>, В.Г. Захаров<sup>2</sup>, В.В. Сюков<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ГНУ Всероссийский НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова Россельхозакадемии, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> ГНУ Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Россельхозакадемии, пос. Тимирязевский, Ульяновская область, Россия;

<sup>3</sup> ГНУ Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.М. Тулайкова Россельхозакадемии, пос. Безенчук, Самарская область, Россия, e-mail: vsukov@mail.ru

Поступила в редакцию 3 сентября 2013 г. Принята к публикации 15 октября 2013 г.

По результатам исследований 2011–2012 гг. выявлена принадлежность ульяновской и безенчукской популяций *Puccinia recondita* к единому ареалу формообразования и распространения листовой ржавчины. В то же время показана значительная схожесть структуры средневожской популяции со структурой популяций из Северного Кавказа и Северо-Западного региона России. Во всех регионах отсутствуют клоны, вирулентные к *Lr 9* и *Lr 41*. Низкими частотами характеризуются гены вирулентности *plr19*, *plr24*, *plr28*, *plr29*, *plr47*.

**Ключевые слова:** листовая бурая ржавчина, яровая пшеница, гены вирулентности, гены устойчивости.

### ВВЕДЕНИЕ

Листовая бурая ржавчина (возбудитель *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. syn.: *Puccinia triticina* Erikss) – одна из наиболее распространенных и вредоносных болезней мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. во многих зонах возделывания культуры, в том числе и в Среднем Поволжье Российской Федерации. Потери урожая в Поволжье от бурой листовой ржавчины достигают 30 %, при орошении – 35 %, а в годы сильных эпифитотий доходят до 60 % (Крупнов, 1997; Крупнов и др., 2000; Лебедев, 1998; Сюков, 2003). Наиболее экономически выгодным и экологически безопасным методом борьбы с листовой ржавчиной является возделывание устойчивых сортов. Целенаправленное создание таких сортов требует знания частот вирулентности патогена к известным генам устойчивости, их динамики, сходства по данному признаку субпопуляций из различных

частей регионов. Такого рода исследования позволяют идентифицировать эффективные на данный момент гены резистентности к болезни, предполагать сроки сохранения ими своей эффективности, а также разрабатывать программы их рационального территориального размещения.

Изучение полиморфизма средневожской популяции *Puccinia recondita* в 1990-е гг. проводились Е.Д. Коваленко с соавт. (2001). По их данным, в Самарской области выявлено 37 генотипов *Puccinia recondita*, имеющих от 6 до 18 генов вирулентности, среди которых наиболее часто встречаются средне- и высоковирулентные генотипы, несущие от 13 до 18 генов вирулентности. В последующие годы такая работа не проводилась по ряду причин, в том числе и из-за отсутствия бурой ржавчины в регионе в течение 2009–2010 гг.

Цель настоящего исследования – изучение вирулентности *P. recondita* из двух областей

Среднего Поволжья в сравнении с популяциями из других регионов России в 2011–2012 гг.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Монопустульные изоляты *P. recondita* выделяли из популяций патогена, собранных в Среднем Поволжье (пос. Безенчук Самарской области и пос. Тимирязевский Ульяновской области) в 2011–2012 гг., а также в Северо-Западном регионе (г. Пушкин) и Северном Кавказе (г. Дербент) в 2012 г., и поддерживали на отрезках листьев универсально восприимчивого сорта пшеницы Ленинградка. Всего из каждой популяции было выделено и проанализировано по 100 изолятов возбудителя листовой ржавчины пшеницы.

Семена почти изогенных линий пшеницы сорта Thatcher с генами устойчивости к листовой ржавчине *Lr 1, Lr 2a, Lr 9, Lr 10, Lr 12, Lr 13, Lr 14a, Lr 15, Lr 17, Lr 19, Lr 20, Lr 21, Lr 22a, Lr 23, Lr 24, Lr 25, Lr 26, Lr 32, Lr 34, Lr 35, Lr 36, Lr 37, Lr 41 (= Lr 39), Lr 45*, а также образцов с генами *Lr 27+31, Lr 28, Lr 29, Lr 46, Lr 47, Lr 48* и *Lr 49* высевали в кюветы на смоченную водой вату. После прорастания семян кюветы помещали на светоустановку (20–22 °С, постоянное освещение – 2 500 люкс). Семена линий и образцов с генами устойчивости *Lr 1, Lr 2a, Lr 10, Lr 14a, Lr 15, Lr 17, Lr 20, Lr 21, Lr 22a, Lr 23, Lr 25, Lr 26, Lr 27+31, Lr 32, Lr 34, Lr 35, Lr 36, Lr 37* высевали в почву в ящики и выращивали до колошения в климатической камере (22 °С, постоянное освещение – 2 500 люкс).

Отрезки первых листьев (длина 0,7–1 см) выращенных на вате растений линий и образцов с *Lr* генами устойчивости раскладывали в строчку на смоченную водой вату и инокулировали монопустульными изолятами возбудителя листовой ржавчины. Аналогично отрезки флаг-листьев выращенных в почве образцов раскладывали на вату и заражали изолятами *P. recondita*. Тип реакции на заражение патогеном учитывали на 6–7-е сутки после инокуляции по шкале Майнса и Джексона (Mains, Jackson, 1926): 0 – отсутствие симптомов болезни; 0; – некрозы без пустул; 1 – очень мелкие пустулы, окруженные некрозом; 2 – пустулы среднего размера, окруженные некрозом или хлорозом; 3 – пустулы среднего размера без некроза; 4 – крупные пустулы без некроза. Типы реакции

0–2 соответствуют авирулентности, типы 3 и 4 – вирулентности патогена. Типы реакции отрезков листьев изучаемого набора образцов совпадали с типами реакций на заражение интактных растений теми же клонами (данные не приводятся).

Для оценки степени сходства популяций *P. recondita* из разных регионов использовали метод парных корреляций (Большев, Смирнов, 1983).

В полевых условиях оценку развития болезни и типа реакции линий и образцов пшеницы проводили на естественных фонах развития листовой ржавчины на полях Пушкинских лабораторий ВИР, Самарского, Ульяновского НИИ сельского хозяйства.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В стадии проростков низкой эффективностью устойчивости (частота вирулентных изолятов более 50 % по крайней мере в одной из популяций) в 2011 г. характеризовались образцы с генами резистентности *Lr: 1, 10, 12, 13, 14a, 17, 21, 22a, 25, 26, 27+31, 32, 34, 36, 37, 46, 48, 49* (табл. 1).

Выявлена высокая степень сходства частот вирулентности ульяновской и безенчукской популяций патогена. Коэффициент корреляции между частотами вирулентности к образцам пшеницы на стадии проростков составил 0,975, а при учете только образцов, обладающих четко выраженной дифференцирующей способностью (без учета линий и образцов с *Lr*-генами 9, 14a, 19, 22a, 24, 41),  $-r = 0,958$ .

Ни в одной из популяций не выявлено изолятов *P. recondita*, вирулентных к линиям с генами *Lr 9, Lr 19, Lr 24, Lr 41*; низкая частота (менее 20 %) изолятов возбудителя листовой ржавчины, вирулентных к проросткам, была характерна для линий с генами *Lr 2a, Lr 28, Lr 47*.

Аналогичная картина наблюдается и при анализе частот вирулентности к взрослым растениям. Коэффициент корреляции между частотами вирулентности составил 0,967, а при учете образцов, обладающих только четко выраженной дифференцирующей способностью (без учета линий с *Lr 15* и *Lr 35*),  $-r = 0,960$ .

В стадии флаг-листа низкие частоты (до 20) вирулентности изолятов патогена выявлены для

изученных линий с генами устойчивости *Lr*: 2a, 15, 23, 26, 36 и 37.

Высокие значения коэффициентов корреляции, а также практически одинаковые частоты вирулентности к *Lr*-генам в обеих популяциях указывают на то, что, по-видимому, эти геогра-

фические точки относятся к единой зоне формирования патотипов *Puccinia recondita*.

Интересным является факт отсутствия в двух изучаемых субпопуляциях патотипов с аллелем вирулентности *plr* 19. В зонах Нижнего и Среднего Поволжья ген устойчивости *Lr* 19 полностью потерял свою эффективность уже к концу прошлого века (Вьюшков и др., 2012). Двухлетнее отсутствие листовой ржавчины на посевах пшеницы в изучаемых регионах (2009–2010 гг.) привело, по-видимому, к радикальному изменению структуры популяции *Puccinia recondita*. Отметим также отсутствие в популяциях вирулентности к гену *Lr* 24, хотя, по данным саратовских исследователей (Маркелова, 2007), в последние годы наблюдается резкое нарастание частот вирулентности к данному гену. Наши исследования, тем не менее, показывают, что регионы Среднего и Нижнего Поволжья относятся к единому ареалу распространения листовой ржавчины (Вьюшков и др., 2012).

По результатам изучения в 2012 г. на стадии проростков абсолютно эффективными к четырём популяциям возбудителя листовой ржавчины являются только гены *Lr* 9, *Lr* 19 и *Lr* 41; хотя в одной из изучаемых популяций отмечено наличие редких клонов, вирулентных к генам *Lr* 24, *Lr* 28, *Lr* 29 и *Lr* 47 (табл. 2).

В основном эти данные подтверждаются и анализом вирулентностей монопустульных изолятов (табл. 3). Не выявлено клонов *Puccinia recondita*, вирулентных к генам *Lr* 9 и *Lr* 41. В некоторых популяциях обнаружены минорные патотипы, вирулентные к *Lr* 19, *Lr* 24, *Lr* 28, *Lr* 29 и *Lr* 47. При этом клоны, вирулентные к *Lr* 19, обнаружены только в популяциях Среднего Поволжья; к *Lr* 24, *Lr* 28 и *Lr* 29 – в популяциях Среднего Поволжья и Пушкина, а к *Lr* 47 – в популяциях из Ульяновска и Пушкина.

Коэффициенты корреляции между частотами вирулентности к образцам пшеницы на стадии проростков в 4 популяциях *Puccinia recondita* приведены в табл. 4. Наибольшая степень сходства отмечается для выборок изолятов из Безенчука и Ульяновска, что подтверждает вывод об их близости, сделанный по результатам анализа 2011 г.

Однако высокодостоверные коэффициенты корреляции между частотами вирулентностей и в остальных популяциях дают основание

**Таблица 1**

Частота клонов возбудителя листовой ржавчины пшеницы, вирулентных к образцам с *Lr* генами устойчивости (2011 г.)

Ген устойчивости	Тимирязевский		Безенчук	
	1-й лист	флаг-лист	1-й лист	флаг-лист
<i>Lr</i> 1	94	92	71	70
<i>Lr</i> 2a	8	8	17	17
<i>Lr</i> 9	0	—*	0	—
<i>Lr</i> 10	90	78	94	82
<i>Lr</i> 12	94	—	98	—
<i>Lr</i> 13	94	—	98	—
<i>Lr</i> 14a	100	76	98	69
<i>Lr</i> 15	17	1	38	2
<i>Lr</i> 17	96	34	96	41
<i>Lr</i> 19	0	—	0	—
<i>Lr</i> 20	48	35	43	34
<i>Lr</i> 21	80	46	88	43
<i>Lr</i> 22a	100	55	98	61
<i>Lr</i> 23	24	6	27	6
<i>Lr</i> 24	0	—	0	—
<i>Lr</i> 25	88	36	88	31
<i>Lr</i> 26	53	12	47	9
<i>Lr</i> 27+31	80	25	84	33
<i>Lr</i> 28	7	—	12	—
<i>Lr</i> 29	23	—	17	—
<i>Lr</i> 32	92	36	94	29
<i>Lr</i> 34	94	45	96	41
<i>Lr</i> 35	74	0	75	0
<i>Lr</i> 36	86	21	63	17
<i>Lr</i> 37	38	5	55	8
<i>Lr</i> 41	0	—	0	—
<i>Lr</i> 46	92	—	84	—
<i>Lr</i> 47	5	—	7	—
<i>Lr</i> 48	90	—	94	—
<i>Lr</i> 49	94	—	96	—

\* Не тестировалось.

говорить о как минимум тесной связанности ареалов формирования и распространения изучаемого патогена в настоящее время. Полученные данные несколько расходятся с широко

распространенным мнением о существовании относительно изолированных популяций в различных географических регионах России (Gulyaeva *et al.*, 2010).

Таблица 2

Типы реакции линий и сортов с *Lr* генами устойчивости на заражение популяциями возбудителя листовой ржавчины пшеницы. 2012 г. Камера, стадия проростков

Ген устойчивости	Улья-новск	Безен-чук	Дербент	Пушкин
<i>Lr 1</i>	3	3	3	3
<i>Lr 2a</i>	3	3	3	3
<i>Lr 3c</i>	3	3	3	3
<i>Lr 9</i>	0	0	0	0
<i>Lr 10</i>	3	3	3	3
<i>Lr 12</i>	3	3	3	3
<i>Lr 13</i>	3	3	3	3
<i>Lr 14a</i>	3	3	3	3
<i>Lr 15</i>	3	3	3	3
<i>Lr 17</i>	3	3	3	3
<i>Lr 18</i>	3	3	3	3
<i>Lr 19</i>	0	0	0	0
<i>Lr 20</i>	3	X	X	X
<i>Lr 21</i>	3	3	3	3
<i>Lr 22a</i>	3	3	3	3
<i>Lr 23</i>	3	3	3	3
<i>Lr 24</i>	0	е. п.	е. п.	е. п.
<i>Lr 25</i>	3	3	3	3
<i>Lr 26</i>	3	3	3	3
<i>Lr 27+31</i>	3	3	3	3
<i>Lr 28</i>	е. п.*	е. п.	е. п.	е. п.
<i>Lr 29</i>	е. п.	е. п.	е. п.	е. п.
<i>Lr 32</i>	3	3	3	3
<i>Lr 34</i>	3	3	3	3
<i>Lr 35</i>	3	3	3	3
<i>Lr 36</i>	3	3	3	3
<i>Lr 37</i>	3	X	X	3
<i>Lr 41</i>	0	0	0	0
<i>Lr 45</i>	3	3	3	3
<i>Lr 47</i>	0	0	е. п.	0
<i>Lr 48</i>	3	3	3	3
<i>Lr 49</i>	3	3	3	3

\* е. п. – единичные пустулы.

Таблица 3

Частота клонов возбудителя листовой ржавчины пшеницы, вирулентных к образцам с *Lr* генами устойчивости (2012 г.)

Ген устойчивости	Улья-новск	Безен-чук	Дербент	Пушкин
<i>Lr 1</i>	34	73	45	61
<i>Lr 2a</i>	53	69	61	70
<i>Lr 3c</i>	91	85	89	85
<i>Lr 9</i>	0	0	0	0
<i>Lr 10</i>	95	97	99	93
<i>Lr 12</i>	87	100	98	99
<i>Lr 13</i>	93	100	95	95
<i>Lr 14a</i>	91	89	98	95
<i>Lr 15</i>	42	43	49	52
<i>Lr 17</i>	59	51	44	58
<i>Lr 18</i>	45	67	38	25
<i>Lr 19</i>	2	8	0	0
<i>Lr 20</i>	31	40	67	91
<i>Lr 21</i>	57	71	65	54
<i>Lr 22a</i>	100	100	100	100
<i>Lr 23</i>	55	89	83	79
<i>Lr 24</i>	2	1	0	1
<i>Lr 25</i>	48	57	78	78
<i>Lr 26</i>	42	56	87	49
<i>Lr 27+31</i>	81	88	79	98
<i>Lr 28</i>	7	3	0	2
<i>Lr 29</i>	5	2	0	2
<i>Lr 32</i>	95	100	100	97
<i>Lr 34</i>	97	97	96	100
<i>Lr 35</i>	66	67	78	81
<i>Lr 36</i>	76	68	78	75
<i>Lr 37</i>	47	70	87	78
<i>Lr 41</i>	0	0	0	0
<i>Lr 45</i>	51	47	46	39
<i>Lr 46</i>	90	91	96	89
<i>Lr 47</i>	2	0	0	1
<i>Lr 48</i>	95	94	97	97
<i>Lr 49</i>	93	98	91	89

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между частотами вирулентности к *Lr* генам в популяциях *Puccinia recondita*. 2012 г.

Популяции	Ульяновск	Безенчук	Дербент
По всем образцам			
Пушкин	0,916	0,927	0,960
Ульяновск		0,951	0,927
Безенчук			0,944
По образцам с высокой дифференцирующей способностью			
Пушкин	0,729	0,665	0,814
Ульяновск		0,860	0,771
Безенчук			0,736

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований 2011–2012 гг. выявлена принадлежность ульяновской и безенчукской популяций *Puccinia recondita* к единому ареалу формообразования и распространения листовой ржавчины. В то же время показана значительная схожесть структуры средневожжской популяции со структурой популяций из Северного Кавказа и Северо-Западного региона России. Во всех регионах отсутствуют клоны, вирулентные к *Lr 9* и *Lr 41*. Низкими частотами характеризуются гены вирулентности *plr19*, *plr24*, *plr28*, *plr29* и *plr47*.

### ЛИТЕРАТУРА

- Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М., 1983. 416 с.
- Вьюшков А.А., Мальчиков П.Н., Сюков В.В., Шевченко С.Н. Селекционно-генетическое улучшение яровой пшеницы: Изд. 2-е испр. и доп. Самара: «Известия Самарского научного центра РАН», 2012. 266 с.
- Коваленко Е.Д., Коломиец Т.М., Жемчужина А.И. и др. Информационный отчет по договору «Изучение структуры популяций наиболее опасных возбудителей болезней зерновых культур и создание сортов, устойчивых к факультативным и облигатным патогенам». Б. Вяземы, 2001. 22 с.
- Крупнов В.А. Стратегия генетической защиты пшеницы от листовой ржавчины в Поволжье // Вестн. РАСХН. 1997. № 6. С. 12–15.
- Крупнов В.А., Воронина С.А., Сибикеев С.Н., Елесин В.А. Увеличение генетического разнообразия саратовских пшениц // Проблемы и пути преодоления засухи в Поволжье // Сб. науч. тр. НИИСХ Юго-Востока. Саратов, 2000. Ч. 1. С. 249–274.
- Лебедев В.Б. Ржавчина пшеницы в Нижнем Поволжье. Саратов, 1998. 295 с.
- Маркелова Т.С. Иммунологические основы и методы создания исходного материала пшеницы для селекции на устойчивость к болезням в Поволжье: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Саратов, 2007. 24 с.
- Сюков В.В. Генетические аспекты селекции яровой мягкой пшеницы в Среднем Поволжье: Дис. ... д-ра биол. наук. Безенчук, 2003. 170 с.
- Gulyaeva E., Kosman E., Dmitriev A., Baranova O. Population structure of *Puccinia triticina* in Russia during 2007, assessed by virulence and molecular markers // Abstracts of Oral and Poster Presentations of 8th Intern. Wheat Conf. St.-Petersburg, 2010. P. 258–259.
- Mains E.B., Jackson H.S. Physiological specialization in leaf rust of wheat, *Puccinia triticina* Erikss // Phytopathology. 1926. V. 16. P. 89–120.

### COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF *Puccinia recondita* ROB. EX DESM. SYN.: *Puccinia tritici* ERIKSS. VIRULENCE IN MIDDLE VOLGA REGION

L.G. Tyryshkin<sup>1</sup>, V.G. Zakharov<sup>2</sup>, V.V. Syukov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> All-Russian Institute of Plant Industry, Russia;

<sup>2</sup> Ulyanovsk Research Institute of Agriculture, Ulyanovsk, Russia;

<sup>3</sup> Samara Research Institute of Agriculture, Samara, Russia, e-mail: vsyukov@mail.ru

### Summary

According to a study conducted in 2011–2012, *Puccinia recondita* populations from Ulyanovsk and Bezenchuk share one geographic range of leaf rust variety formation and dispersal. At the same time, a significant similarity between the structures of the Middle Volga population and of populations from North Caucasus and Northwestern Russia was shown. Clones virulent to *Lr 9* and *Lr 41* were absent from all regions examined. The virulence genes *plr19*, *plr24*, *plr28*, *plr29*, *plr47* occurred at low frequencies.

**Key words:** leaf rust, spring wheat, virulence genes, genes for resistance.