Влияние сортов озимой пшеницы с разными типами устойчивости к возбудителю бурой ржавчины на изменение структуры популяции по признаку вирулентности

Г. В. Волкова¹, О. А. Кудинова¹✉, О. Ф. Ваганова¹

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений, Краснодар, Россия

✉E-mail: alosa@list.ru

Аннотация. Цель – проанализировать динамику вирулентности северокавказской популяции *Puccinia triticina* под влиянием сортов озимой пшеницы с разными типами устойчивости к патогену. **Методы.** Исследования проводили в 2018 году в условиях опытного поля и теплицы ВНИИБЗР. Для эксперимента по изучению влияния генотипа сорта на вирулентность популяции *P. triticina* в ходе предварительной иммунологической оценки были отобраны два сорта озимой пшеницы: Краля (сорт с расоспецифической устойчивостью) и Вершина (сорт с расонеспецифической устойчивостью). Анализ влияния каждого сорта на структуру популяции по признаку вирулентности патогена основан на результатах дифференциации инфекционного материала *P. triticina*, собранного с каждого сорта при сравнении со сборной популяцией гриба. **Результаты.** Установлено существенное влияние на вирулентность популяции *P. triticina* генотипа сорта озимой пшеницы, обладающего расоспецифической устойчивостью: под влиянием движущего отбора изменилась частота изолятов патогена к большинству линий с генами *Lr*. Широкое районирование таких сортов во времени и пространстве приведет к селективному давлению на популяцию *P. triticina*, способствуя накоплению в ней высоковирулентных фенотипов. Генотип сорта с неспецифической устойчивостью не вызывал значительных изменений в генофонде вирулентности популяции возбудителя бурой ржавчины. Выводы подтверждены статистически: согласно полученным значениям индекса Нея, популяция патогена, собранная с сорта с расоспецифической устойчивостью, имеет значительные различия со сборной популяцией ($N = 0,68$), в отличие от популяции *P. triticina*, собранной с сорта Вершина ($N = 0,41$). Полученные результаты подтверждают важность скрининга сортов по типам устойчивости для дальнейшего принятия решения по их размещению. Сорта, обладающие расоспецифической устойчивостью, лучше использовать для мозаичного размещения с последующей обязательной ротацией во времени и пространстве. А сорта с неспецифической устойчивостью, которые слабо поражаются всеми расами патогена и не могут являться накопителями инфекции, можно использовать на больших площадях и более длительное время, сочетать с сортами из различных групп, в том числе и собственной. **Новизна исследования.** Работы по изучению влияния сортов пшеницы с разными типами устойчивости на вирулентность популяций ржавчинных грибов практически не проводились, хотя данное направление представляет большой практический интерес как для селекции, так и при сорторазмещении.

Ключевые слова: бурая ржавчина, *Puccinia triticina*, озимая пшеница, устойчивый сорт, расоспецифическая устойчивость, расонеспецифическая устойчивость, вирулентность, популяция.

Для цитирования: Волкова Г. В., Кудинова О. А., Ваганова О. Ф. Влияние сортов озимой пшеницы с разными типами устойчивости к возбудителю бурой ржавчины на изменение структуры популяции по признаку вирулентности // Аграрный вестник Урала. 2020. № 08 (199). С. 25–33. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-199-8-25-33.

Дата поступления статьи: 16.04.2020.

Постановка проблемы (Introduction)

Возбудитель бурой ржавчины пшеницы (*Puccinia triticina* Erikss.) является облигатным биотрофным паразитом, распространенным во всех зернопроизводящих районах мира [1, с. 2501], [2, с. 248]. Смена сортового состава пшеницы вызывает ответные изменения в популяции гриба, который эволюционирует сопряженно [3, с. 445]. Популяционные исследования возбудителя бурой ржавчины пшеницы проводятся во многих странах [4, с. 1135], [5,

с. 1741], [6, с. 1066]. Сравнение популяций *P. triticina* в основном проводится по географическому принципу [7, с. 363], [8]. При этом многие исследователи отмечают постепенную потерю устойчивости к патогену сортами пшеницы, содержащими эффективные гены *Lr*. Например, ген *Lr9* до недавнего времени считался высокоэффективным на территории России. Но активное его применение при создании сортов в Западной Сибири и на Урале в 2000–2010 гг. вызвало потерю его устойчивости и появление

вирулентных изолятов [9, с. 8]. В северокавказской популяции данный ген еще не потерял своей эффективности, хотя в 2016 г. было отмечено появление первых вирулентных к нему изолятов [10, с. 25]. Ген *Lr24* был широко распространен в сортах пшеницы североамериканской и австралийской селекции, но в настоящее время отмечена потеря его эффективности в данных странах вследствие активного использования таких сортов на больших площадях [11, с. 413]. До сих пор он сохраняет свою эффективность в большинстве регионов России [12, с. 105], [13, с. 1059], а в Северо-Кавказском регионе появление изолятов, вирулентных к *Lr24*, отмечено с 2006 года [14]. Таким образом, работы российских и зарубежных авторов подтверждают факт потери устойчивости к бурой ржавчине сортов пшеницы при несоблюдении площадей возделывания и их ротации во времени и пространстве. Это происходит вследствие возникновения и накопления в популяции гриба вирулентных изолятов к ранее эффективным генам [15, с. 70].

Более быстрая потеря устойчивости характерна в основном в отношении сортов с расоспецифической (или вертикальной) устойчивостью. Такие сорта оказывают селективное давление на популяцию патогена, в результате чего повышается частота соответствующих генов вирулентности [16, с. 1416]. Поэтому в настоящее время в селекции активно проводятся работы над созданием сортов с комбинацией APR (Adult Plant Resistance) генов, обуславливающих неспецифическую (горизонтальную) устойчивость к патогену, что способствует продлению жизни сорта [17, с. 25]. Одним из первых выявленных «slow rusting» генов является *Lr34*, сохраняющий свою эффективность более 60 лет [18, с. 14]. В последние годы были идентифицированы новые «slow rusting» гены устойчивости к бурой ржавчине: *Lr46* [19, с. 303], *Lr67* и *Lr68* [20]. Работы по изучению влияния сортов пшеницы с разными типами устойчивости на вирулентность популяций ржавчинных грибов практически не проводились, хотя данное направление представляет большой практический

интерес как для селекции, так и для сорторазмещения. В России такие исследования проводились во ВНИИБЗР [21, с. 18], [22, с. 415]. Так, Д. А. Кольбиным было установлено значительное влияние сортов озимой пшеницы с расоспецифической устойчивостью (Гордеиформе 6, Донской простор, Зимница, Первица, Ростовчанка 7, Танаис) на динамику вирулентности северокавказской популяции фитопатогена. Широкое районирование сортов озимой пшеницы с расоспецифической устойчивостью обусловит селективное давление на популяцию возбудителя бурой ржавчины, что приведет к накоплению в ней вирулентных фенотипов и создаст угрозу эпифитотии болезни. Сорта озимой пшеницы, обладающие неспецифической устойчивостью к болезни (такие как Грация, Марафон, Москвич) способствуют снижению селективного давления на популяцию *P. triticina*, снижая вероятность образования вирулентных фенотипов, что приведет к стабилизации фитосанитарной ситуации [23, с. 63]. Учитывая актуальность темы и активную сортомену, особенно в южном регионе России, необходимо активизировать такие исследования с использованием современных сортов пшеницы. Цель данного исследования – проанализировать динамику вирулентности северокавказской популяции *Puccinia triticina* под влиянием сортов озимой пшеницы с разными типами устойчивости к патогену.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводили в 2018 году в условиях опытного поля и камер искусственного климата ФГБНУ ВНИИБЗР.

С целью ранжирования сортов по устойчивости к бурой ржавчине в условиях искусственного инфекционного фона была проведена иммунологическая оценка сортов озимой пшеницы. Основными показателями качественной и количественной оценки устойчивости сортов являлись тип реакции растений (балл) [24, с. 75], степень поражения растений (%) [23, с. 15], площадь под кривой развития болезни ПКРБ (условные единицы), которую рассчитывали по формуле [25, с. 21]:

Таблица 1

Классификация сортов пшеницы по уровню неспецифической устойчивости к бурой ржавчине

Степень устойчивости сорта	Относительный показатель индекса устойчивости (φ)*
Восприимчивость	больше 0,9
Слабая расонеспецифическая устойчивость	0,7–0,9
Умеренная расонеспецифическая устойчивость	0,4–0,7
Высокая расонеспецифическая устойчивость	0,1–0,4
Расоспецифическая устойчивость	меньше 0,1

* Относительно восприимчивого контроля с индексом, равным 1,0.

Table 1

Classification of wheat varieties by the level of non-specific resistance to leaf rust

Grade resistance	Relative index of resistance index (φ)*
Susceptibility	more than 0.9
Low race-nonspecific resistance	0.7–0.9
Moderate race-nonspecific resistance	0.4–0.7
High race-nonspecific resistance	0.1–0.4
Race-specific resistance	less than 0.1

* Relatively susceptible control with an index of 1.0.

$$S = \frac{1}{2}(x_1 + x_2)(t_2 - t_1) + \dots + (x_{n-1} + x_n)(t_n - t_{n-1}),$$

где x_1, x_2 – степень поражения растения в момент первого и второго учетов, %;

$(t_2 - t_1)$ – количество суток между первым и вторым учетами, сут.;

x_n, x_{n-1} – степень поражения растения в момент последнего и предпоследнего учетов, %;

$(t_n - t_{n-1})$ – количество суток между последним и предпоследним учетами, сут.;

Главным критерием для определения типа устойчивости сорта являлся индекс устойчивости (φ), который рассчитывали по формуле [26, с. 26]:

$$\varphi = \text{ПКРБ}_1 : \text{ПКРБ}_2,$$

где ПКРБ_1 – площадь под кривой развития болезни изучаемого сорта, у. е.;

ПКРБ_2 – площадь под кривой развития болезни контрольного сорта, у. е.

Для определения типа и степени устойчивости сорта использовали следующую классификацию [27, с. 27]:

Инфекционный материал патогена, используемый для инокуляции сортов, был собран в результате маршрутных обследований производственных и селекционных посевов озимой пшеницы пяти агроклиматических зон Северо-Кавказского региона. Для эксперимента по оценке влияния генотипа сорта на вирулентность популяции *P. triticina* в фазу колошения растений была проведена инокуляция изучаемых сортов пшеницы сборной популяцией возбудителя бурой ржавчины. Собранные с флаг-листьев изучаемых сортов урединиоспоры гриба были размножены на всходах восприимчивого сорта Michigan Amber. Для дифференциации популяции *P. triticina* по вирулентности использовали близкородственные линии сорта Thatcher с известными генами устойчивости (*Lr1 – Lr38, Lr44, Lr45, Lr47, LrB, Lr52*) и линии KS89WGRC07 (*Lr40*), KS90WGRC10 (*Lr41*), KS1WGRC11 (*Lr42*), TAM200 (*Lr43 + Lr24*), Exchange.

По результатам дифференциации по M. S. Wolfe и E. Schwarzbach [25, р. 300] определяли частоту клонов в популяции гриба, вирулентных к линиям пшеницы с определенными генами устойчивости. Среднюю вирулентность популяции рассчитывали по Мартенсу [28, с. 19]. Опреде-

ление степени влияния фактора генотипа сорта на изменение структуры популяции возбудителя бурой ржавчины по вирулентности оценивали с помощью генетическогоостояния Нея [29, с. 690].

Результаты (Results)

Для эксперимента по влиянию генотипа сорта на вирулентность популяции *P. triticina* в ходе предварительной иммунологической оценки были отобраны два сорта озимой пшеницы: Краля обладает расоспецифической устойчивостью к болезни, Вершина – расонеспецифической устойчивостью. Иммунологические характеристики сортов приведены в таблице 2.

Результаты дифференциации популяций *P. triticina*, собранных с исследуемых сортов, приведены в таблице 3.

Под влиянием генотипа сорта Краля, обладающего расоспецифической устойчивостью, произошло увеличение частоты изолятов с генами вирулентности pp: 3bg, 3ka, 15, 21, 34, 36, 38, 44, W; уменьшение частоты изолятов с генами вирулентности pp: 10, 11, 14a, 14b, 17, 18, 26, 28, 33, Exchange. На уровне сборной популяции патогена оставалась частота изолятов с генами вирулентности pp: 1, 3, 9, 16, 19, 23, 24, 25, 29, 40, 41, 42, 43, 45, 47, B, Kanred.

Так, на сорте с неспецифической устойчивостью Вершина отмечено увеличение частоты изолятов с генами вирулентности pp: 3, 10, 14b, 40, Kanred; уменьшение частоты изолятов с генами вирулентности pp: 11, 16, 18, 23, 33, Exchange. На одном уровне остается частота изолятов с генами вирулентности pp: 1, 2a, 2c, 3 ka, 3bg, 14a, 19, 21, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 32, 34, 36, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 47. Отмечена элиминация изолятов с генами вирулентности pp: 15, 20, W.

Сорт с расоспецифической устойчивостью способствовал элиминации изолятов с генами вирулентности pp: 2a, 2c, 20, 30, 32. Средняя вирулентность популяции патогена при этом снизилась до 20,5 %, т. е. в 1,4 раза по сравнению со сборной популяцией.

Сорт с расонеспецифической устойчивостью способствовал элиминации клонов с генами вирулентности pp: 15, 20, W. При этом средняя вирулентность популяции *P. triticina* составила 21,9 %, что в 1,3 раза ниже исходной популяции.

Таблица 2

Иммунологическая характеристика сортов озимой пшеницы относительно северокавказской популяции возбудителя бурой ржавчины (инфекционный питомник ВНИИБЗР, фаза молочно-восковой спелости зерна, 2018 г.)

Сорт	Тип реакции растений, балл	Конечная степень поражения, %	ПКРБ*, у. е.	Индекс устойчивости, у. е.
Краля	1	1,4	13,0	0,02
Вершина	3(2)	49,0	172,1	0,29

Table 2

Immunological characteristics of winter wheat varieties relative to the North Caucasus leaf rust pathogen population (infectious nursery of All-Russian Scientific Research Institute for Biological Plant Protection, phase of milk-wax ripeness of grain, 2018)

Cultivar	Type of reaction of plants, score	The final degree of damage, %	AUCD, conv. units	Resistance index, conv. units
Kralya	1	1.4	13.0	0.02
Vershina	3(2)	49.0	172.1	0.29

Таблица 3

Частота изолятов *P. triticina* f. sp. *tritici.*, вирулентных к изогенным линиям Lr, под влиянием генотипов сортов озимой пшеницы с различными типами устойчивости к патогену (камера искусственного климата, 2018 г.)

Гены вирулентности, PP	Частота изолятов в образцах урединиоспор, %		
	Сборная популяция	Популяция с сорта с расоспецифической устойчивостью	Популяция с сорта с расонеспецифической устойчивостью
		Краля	Вершина
1	7,3	9,1	3,3
2a	7,3	0,0	5,0
2c	12,2	0,0	18,3
3	19,5	13,6	38,3
3bg	40,2	68,2	46,6
3ka	20,7	36,4	13,3
9	0,0	0,0	0,0
10	53,7	13,6	65,0
11	36,6	18,2	15,0
14a	78,1	27,3	83,3
14b	65,9	31,8	76,7
15	4,9	18,2	0,0
16	26,8	27,3	16,7
17	48,8	27,3	16,7
18	57,3	3,6	40,0
19	0,0	0,0	0,0
20	59,8	0,0	0,0
21	42,7	54,5	35,0
23	20,7	27,3	1,7
24	0,0	0,0	0,0
25	2,4	0,0	3,3
26	30,5	9,1	26,7
28	15,9	4,5	18,3
29	0,0	0,0	0,0
30	9,8	0,0	13,3
32	7,3	0,0	1,7
33	100	22,7	13,3
34	7,3	59,1	40,0
36	37,8	90,9	70,0
38	67,1	4,5	66,7
40	53,7	0,0	0,0
41	0,0	0,0	0,0
42	0,0	0,0	0,0
43	0,0	59,1	21,7
44	28,1	0,0	8,3
45	0,0	4,5	3,3
47	0,0	90,9	86,7
B	100,0	22,7	0,0
W	12,2	45,5	8,3
Exch	68,3	22,7	38,3
Kanred	28,1	27,3	5,0
Средняя вирулентность по Мартенсу, %	28,9	20,5	21,9
Индекс Нея (N)	–	0,68	0,41

Frequency of isolates of *P. triticina* f. sp. *tritici*., virulent to isogenic Lr lines, under the influence of genotypes of winter wheat varieties with different types of pathogen resistance (artificial climate chamber, 2018)

Virulence genes, pp	The frequency of isolates in the samples of urediniospores, %		
	General population	Population with a cultivar with race-specific resistance	Population with a cultivar with race-nonspecific resistance
		Kralya	Vershina
1	7.3	9.1	3.3
2a	7.3	0.0	5.0
2c	12.2	0.0	18.3
3	19.5	13.6	38.3
3bg	40.2	68.2	46.6
3ka	20.7	36.4	13.3
9	0.0	0.0	0.0
10	53.7	13.6	65.0
11	36.6	18.2	15.0
14a	78.1	27.3	83.3
14b	65.9	31.8	76.7
15	4.9	18.2	0.0
16	26.8	27.3	16.7
17	48.8	27.3	16.7
18	57.3	3.6	40.0
19	0.0	0.0	0.0
20	59.8	0.0	0.0
21	42.7	54.5	35.0
23	20.7	27.3	1.7
24	0.0	0.0	0.0
25	2.4	0.0	3.3
26	30.5	9.1	26.7
28	15.9	4.5	18.3
29	0.0	0.0	0.0
30	9.8	0.0	13.3
32	7.3	0.0	1.7
33	100	22.7	13.3
34	7.3	59.1	40.0
36	37.8	90.9	70.0
38	67.1	4.5	66.7
40	53.7	0.0	0.0
41	0.0	0.0	0.0
42	0.0	0.0	0.0
43	0.0	59.1	21.7
44	28.1	0.0	8.3
45	0.0	4.5	3.3
47	0.0	90.9	86.7
B	100.0	22.7	0.0
W	12.2	45.5	8.3
Exch	68.3	22.7	38.3
Kanred	28.1	27.3	5.0
Martens mean virulence, %	28.9	20.5	21.9
Ney Index (N)	—	0.68	0.41

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, установлено существенное влияние генотипа сорта озимой пшеницы, обладающего расоспецифической устойчивостью: под влиянием движущего отбора изменилась частота изолятов к большинству линий с генами *Lr*. Широкое районирование таких сортов во времени и пространстве будет способствовать селективному давлению на популяцию *P. tritricina*, накоплению в ней вирулентных фенотипов. Генотип сорта с неспецифической устойчивостью не вызывал значительных изменений в генофонде вирулентности популяции возбудителя бурой ржавчины. Следовательно, сорта с неспецифической устойчивостью будут снижать селективное воздействие на популяцию патогена и способствовать стабилизации фитосанитарной ситуации.

В результате изучения влияния генотипов сортов на изменчивость популяции возбудителя бурой ржавчины с использованием индекса Нея установлена сопоставимость полученных данных: Краля (N = 0,68), Вершина (N = 0,41). Максимальный показатель N отмечен для сорта Краля со

специфической устойчивостью к *P. tritricina*, что свидетельствует о существенном влиянии сортов с расоспецифической устойчивостью на вирулентность популяции *P. tritricina*. Эти данные подтверждают ранее выполненные исследования коллег, полученные с другими сортами [21, с. 18], [22, с. 415], [23, с. 59].

Таким образом, полученные результаты подтверждают важность скрининга сортов по типам устойчивости для дальнейшего принятия решения по их размещению. Сорта, обладающие расоспецифической устойчивостью, лучше использовать для мозаичного размещения с последующей обязательной ротацией во времени и пространстве. А сорта с неспецифической устойчивостью, которые слабо поражаются всеми расами патогена и не могут являться накопителями инфекции, можно использовать на больших площадях и более длительное время.

Благодарности (Acknowledgements)

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 20-016-00268.

Библиографический список

1. Kolmer J. A. Genetics of leaf rust resistance in the hard red winter wheat cultivars Santa Fe and Duster // Crop Science. 2017. Vol. 57. Pp. 2500–2505. DOI: 10.2135/cropsci2016.12.1029.
2. Sallam M. E., El-Orabey W. M., Omara R. I. Seedling and adult plant resistance to leaf rust in some Egyptian wheat genotypes // African Journal of Agricultural Research. 2016. Vol. 11. No. 4. Pp. 247–258. DOI: 10.5897/AJAR2015.10320.
3. Liu M., Rodrigue N., Kolmer J. Population divergence in the wheat leaf rust fungus *Puccinia tritricina* is correlated with wheat evolution // Heredity. 2014. Vol. 112. Pp. 443–453. DOI:10.1038/hdy.2013.123.
4. Ma Y., Liu T., Liu B., Gao L., Chen W. Population genetic structures of *Puccinia tritricina* in five provinces of China // European Journal of Plant Pathology. 2020. Vol. 156. Pp. 1135–1145. DOI: 10.1007/s10658-020-01956-4.
5. Kosman E., Ben-Yehuda P., Manisterski J., Sela H. Diversity of virulence phenotypes among annual populations of *Puccinia tritricina* originating from common wheat in Israel during the period 2000–15 // Plant Pathology. 2019. Vol. 68. No. 9. Pp. 1741–1748. DOI:10.1111/ppa.13078.
6. Kolmer J. A., Hughes M. E. Physiologic specialization of *Puccinia tritricina* on wheat in the United States in 2016 // Plant disease. 2018. Vol. 102. No. 6. Pp. 1066–1071. DOI: 10.1094/PDIS-11-17-1701-SR.
7. Гультяева Е. И., Коваленко Н. М., Шаманин В. П. [и др.] Структура популяций листовых патогенов яровой пшеницы в западноазиатских регионах России и северном Казахстане в 2017 г. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22. № 3. С. 363–369. DOI: 10.18699/VJ18.372.
8. Ordoñez M. E., German S. E., Kolmer J. A. Genetic differentiation within the *Puccinia tritricina* population in South America and comparison with the North American population suggests common ancestry and intercontinental migration // Phytopathology. 2010. Vol. 100. No. 4. P. 376.
9. Гультяева Е. И., Шайдаюк Е. Л., Казарцев И. А., Аристова М. К. Структура российских популяций гриба *Puccinia tritricina* Erikss // Вестник защиты растений. 2015. Т. 3. № 85. С. 5–10.
10. Волкова Г. В., Кудинова О. А., Ваганова О. Ф. Разнообразие фенотипов вирулентности популяции *Puccinia tritricina* в различных агроклиматических зонах Северного Кавказа // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. № 6. С. 23–26. DOI: 10.31857/S2500-26272019623-26.
11. Pretorius Z. A., Ayliffe M., Bowden R. L., et al. Advances in control of wheat rusts // P. Langridge (Ed.) Achieving sustainable cultivation of wheat 2017. Vol. 1. Pp. 295–343.
12. Колесова М. А., Тырышкин Л. Г. Наследование эффективной ювенильной устойчивости шести образцов *Aegilops speltoides* Tausch к листовой ржавчине // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. Т. 179. № 4. С. 104–110.
13. Гультяева Е. И., Аристова М. К., Шайдаюк Е. Л., Мироненко Н. В., Казарцев И. А., Ахметова А., Косман Е. Генетическая дифференциация *Puccinia tritricina* Erikss. на территории России // Генетика. 2017. Т. 53. № 9. С. 1053–1060.
14. Volkova G. V., Vaganova O. F., Kudinova O. A. Short communication: Virulence of *Puccinia tritricina* in the North Caucasus region of Russia [e-resource] // Spanish Journal of Agricultural Research, 2020. Vol. 18. No. 1. P. e10SC01. DOI: dx.doi.org/10.5424/sjar/2020181-14749. URL: <http://revistas.inia.es/index.php/sjar/article/view/14749> (appeal date: 30.03. 2020).
15. Baidya S., Bhardwaj S. C., Shrestha S. M., et al. Evaluation of Wheat Genotypes for Seedling and Adult Plant Resistance to Leaf Rust (*Puccinia tritricina*) // Discovery Agriculture. 2019. Vol. 5. Pp. 69–78.
16. Juliana P., Singh R. P., Singh P. K., et al. Genomic and pedigree-based prediction for leaf, stem, and stripe rust resistance in wheat // Theoretical and Applied Genetics. 2017. Vol. 130. No. 7. Pp. 1415–1430. DOI: 10.1007/s00122-017-2897-1.

17. Hei N. B. Evaluation of wheat cultivars for slow rusting resistance to leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks) in Ethiopia // African Journal of Plant Science. 2017. Vol. 11 (2). Pp. 23–29. DOI: 10.5897/AJPS2016.1450.
18. Kumar M., Singh R. M., Prashar M., et al. Genetics of Partial Resistance to Leaf Rust (*Puccinia triticina*) in Bread Wheat (*Triticum aestivum*) // Agricultural research. 2016. Vol. 5. No. 1. Pp. 13–21. DOI: 10.1007/s40003-015-0190-6.
19. Skowrońska, R., Kwiatek, M., Tomkowiak, A., et al. Development of multiplex PCR to detect slow rust resistance genes Lr34 and Lr46 in wheat // Journal of applied genetics. 2019. Vol. 60. No. 3–4. Pp. 301–304. DOI: 10.1007/s13353-019-00520-z.
20. El-Orabey W. M., Hamwieh A., Ahmed S. M. Molecular markers and phenotypic characterization of adult plant resistance genes Lr34, Lr46, Lr67 and Lr68 and their association with partial resistance to leaf rust in wheat // Journal of genetics. 2019. Vol. 98. No. 82. DOI: 10.1007/s12041-019-1122-1.
21. Алексеева Т. П., Анпилогова Л. К., Слюсаренко А. Н. [и др.] Влияние возделываемых сортов пшеницы на направление отбора генов вирулентности возбудителя бурой ржавчины // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. 1991. № 1. С. 18.
22. Волкова Г. В. Структура и изменчивость популяций возбудителей бурой и желтой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе и обоснование приемов управления внутрипопуляционными процессами: диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. СПб.: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 2006. 426 с.
23. Кольбин Д. А., Волкова Г. В. Влияние возделываемых сортов озимой пшеницы на направление отбора генов вирулентности возбудителя бурой ржавчины на юге России // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2011. № 9 (60). С. 59–64.
24. Roelfs A. P., Singh R. P., Saari E. E. Rust diseases of wheat: concepts and methods management. Mexico: CIMMIT, 1992. 81 p.
25. Койшибаев М., Сагитов А. О. Защита зерновых культур от особо опасных болезней: рекомендации. Алматы, 2012. 33 с.
26. Волкова Г. В., Анпилогова Л. К., Алексеева Т. [и др.] Типы устойчивости сортов пшеницы к комплексу патогенов и эффективные гены растения-хозяина в условиях Северного Кавказа: практические рекомендации. СПб., 2009. 32 с.
27. Wolfe M. S., Schwarzbach E. The use of virulence analysis in cereal mildews // Phytopathologische Zeitschrift. 1975. Vol. 82. Pp. 297–307. DOI: 10.1111/j.1439-0434.1975.tb03495.x.
28. Martens J. W. Stem rust of east in Canada in 1967 // Canadian Plant Disease Survey. 1968. Vol. 48. No. 1. Pp. 17–19.
29. Kosman E., Leonard K. J. Conceptual analysis of methods applied to assessment of diversity within and distance between populations with asexual or mixed mode of reproduction // New Phytologist. 2007. Vol. 174. Pp. 683–696. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2007.02031.x.

Об авторах:

Галина Владимировна Волкова¹, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией иммунитета зерновых культур к грибным болезням, ORCID 0000-0003-4033-7524, AuthorID 98216; +7 918 374-76-78, galvol2011@yandex.ru

Ольга Александровна Кудинова¹, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунитета зерновых культур к грибным болезням, ORCID 0000-0002-0568-4312, AuthorID 704897; +7 952 853-34-08, alosa@list.ru

Ольга Федоровна Ваганова¹, научный сотрудник лаборатории иммунитета зерновых культур к грибным болезням, ORCID 0000-0003-2345-2643, AuthorID 98215; +7 938-435-58-34, vof54@mail.ru

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений, Краснодар, Россия

Selection of *Puccinia triticina* virulence genes on winter wheat varieties with different types of resistance

G. V. Volkova¹, O. A. Kudinova[✉], O. F. Vaganova¹

¹ All-Russian Scientific Research Institute for Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

✉E-mail: alosa@list.ru

Abstract. A change in the varietal composition of wheat causes response changes in the population of the fungus, which evolves conjugately. Population studies of the causative agent of leaf rust of wheat are carried out in many countries. Comparison of populations of *P. triticina* is mainly carried out geographically. **The purpose** of the study was to analyze the dynamics of the virulence of North Caucasus *Puccinia triticina* populations under the influence of winter wheat varieties with different types of leaf rust resistance. **Methods.** The study was carried out in 2018 in the experimental field and greenhouses All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection. Two varieties of winter wheat: Kralya and Vershina with different types of resistance to leaf rust, were used for the experiment. Cultivar Kralya had race-specific resistance; cultivar a Vershina had race-

nonspecific resistance to leaf rust. Virulence analysis of the impact of each cultivar on the structure of the pathogen population based on the results of differentiation of *P. triticina* populations, collected from each cultivar and compared to the mixed pathogens population. **As a result**, it was found that the genotype of a winter wheat variety with race-specific resistance significantly affects the virulence of the *P. triticina* population. The frequency of virulent pathogen isolates to most lines with Lr genes has changed under the influence of driving selection. Therefore, the wide regionalization of varieties with race-specific resistance will contribute to selective pressure on the *P. triticina* population and the accumulation of virulent phenotypes in it. The genotype of a wheat variety with nonspecific resistance did not cause significant changes in the gene pool of the virulence of the leaf rust pathogen population. In accordance with the obtained values of the Nei index, the pathogen population collected from a variety with race-specific resistance has significant differences with the combined population ($N = 0.68$), in contrast to the population of *P. triticina* collected from the Vershina variety ($N = 0.41$). The results obtained confirm the importance of screening varieties by resistance types for further decision making on their placement. Varieties with race-specific resistance are best used for mosaic placement with subsequent mandatory rotation in time and space. And varieties with nonspecific resistance, which are weakly affected by all races of the pathogen and cannot be carriers of infection, can be used over large areas for a longer time, combined with varieties from various groups, including their own. **Scientific novelty.** There have been practically no studies on the effect of wheat varieties with different types of resistance on the virulence of rust fungi populations, although this direction is of great practical interest for both selection and varietal placement.

Keywords: leaf rust, *Puccinia triticina*, winter wheat, resistant variety, race-specific resistance, race-nonspecific resistance, virulence, population.

For citation: Volkova G. V., Kudina O. A., Vaganova O. F. Vliyaniye sortov ozimoy pshenitsy s raznymi tipami ustoychivosti k vzbuditel'yu buroy rzhavchiny na izmeneniye struktury populyatsii po priznaku virulentnosti [Selection of *Puccinia triticina* virulence genes on winter wheat varieties with different types of resistance] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. No. 08 (199). Pp. 25–33. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-199-8-25-33. (In Russian.)

Paper submitted: 16.04.2020.

References

1. Kolmer J. A. Genetics of leaf rust resistance in the hard red winter wheat cultivars Santa Fe and Duster // Crop Science. 2017. Vol. 57. Pp. 2500–2505. DOI: 10.2135/cropsci2016.12.1029.
2. Sallam M. E., El-Orabey W. M., Omara R. I. Seedling and adult plant resistance to leaf rust in some Egyptian wheat genotypes // African Journal of Agricultural Research. 2016. Vol 11. No. 4. Pp. 247–258. DOI: 10.5897/AJAR2015.10320.
3. Liu M., Rodrigue N., Kolmer J. Population divergence in the wheat leaf rust fungus *Puccinia triticina* is correlated with wheat evolution // Heredity. 2014. Vol. 112. Pp. 443–453. DOI:10.1038/hdy.2013.123.
4. Ma Y., Liu T., Liu B., Gao L., Chen W. Population genetic structures of *Puccinia triticina* in five provinces of China // European Journal of Plant Pathology. 2020. Vol. 156. Pp. 1135–1145. DOI: 10.1007/s10658-020-01956-4.
5. Kosman E., Ben-Yehuda P., Manisterski J., Sela H. Diversity of virulence phenotypes among annual populations of *Puccinia triticina* originating from common wheat in Israel during the period 2000–15 // Plant Pathology. 2019. Vol. 68. No. 9. Pp 1741–1748. DOI:10.1111/ppa.13078.
6. Kolmer J. A., Hughes M. E. Physiologic specialization of *Puccinia triticina* on wheat in the United States in 2016 // Plant disease. 2018. Vol. 102. No. 6. Pp. 1066–1071. DOI: 10.1094/PDIS-11-17-1701-SR.
7. Gul'tyaeva E. I., Kovalenko N. M., Shamanin V. P., et al. Struktura populyatsiy listovoykh patogenov yarovoy pshenitsy v zapadnoaziatskikh regionakh Rossii i severnom Kazakhstane v 2017 g. [Population structure of leaf pathogens of spring wheat in West Asian regions of Russia and northern Kazakhstan in 2017] // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018. T. 22. No. 3. Pp. 363–369. DOI: 10.18699/VJ18.372. (In Russian.)
8. Ordoñez M. E., German S. E., Kolmer J. A. Genetic differentiation within the *Puccinia triticina* population in South America and comparison with the North American population suggests common ancestry and intercontinental migration // Phytopathology. 2010. Vol. 100. No. 4. P. 376.
9. Gul'tyaeva E. I., Shaydayuk E. L., Kazartsev I. A., Aristova M. K. Struktura rossiyskikh populyatsiy griba *Puccinia triticina* Eriks [The structure of Russian populations of the fungus *Puccinia triticina* Eriks] // Plant Protection News. 2015. T. 3. No. 85. Pp. 5–10. (In Russian.)
10. Volkova G. V., Kudina O. A., Vaganova O. F. Raznoobrazie fenotipov virulentnosti populyatsii *Puccinia triticina* v razlichnykh agroklimaticheskikh zonakh Severnogo Kavkaza [Diversity of virulence phenotypes of the *Puccinia triticina* population in different agro-climatic zones of the North Caucasus] // Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka 2019. No. 6. Pp. 23–26. DOI: 10.31857/S2500-26272019623-26. (In Russian.)
11. Pretorius Z. A., Ayliffe M., Bowden R. L., et al. Advances in control of wheat rusts // P. Langridge (Ed.) Achieving sustainable cultivation of wheat 2017. Vol. 1. Pp. 295–343.
12. Kolesova M. A., Tyryshkin L. G. Nasledovanie effektivnoy yuvenil'noy ustoychivosti shesti obraztsov *Aegilops speltoides* Tausch k listovoy rzhavchine [Inheritance of effective juvenile resistance of six *Aegilops speltoides* Tausch accessions to leaf rust] // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2019. T. 179. No. 4. Pp. 104–110. (In Russian.)

13. Gul'tyaeva E. I., Aristova M. K., Shaydayuk E. L., Mironenko N. V., Kazartsev I. A., Akhmetova A., Kosman E. Genetichesкая differentsiatsiya *Puccinia triticina* Erikss. na territorii Rossii [Genetic differentiation of *Puccinia triticina* Erikss. on Russian territory] // Russian Journal of Genetics. 2017. T. 53. No. 9. Pp. 1053–1060. (In Russian.)
14. Volkova G. V., Vaganova O. F., Kudina O. A. Short communication: Virulence of *Puccinia triticina* in the North Caucasus region of Russia [e-resource] // Spanish Journal of Agricultural Research, 2020. Vol. 18. No. 1. P. e10SC01. DOI: dx.doi.org/10.5424/sjar/2020181-14749. URL: <http://revistas.inia.es/index.php/sjar/article/view/14749> (appeal date: 30.03. 2020).
15. Baidya S., Bhardwaj S. C., Shrestha S. M., et al. Evaluation of Wheat Genotypes for Seedling and Adult Plant Resistance to Leaf Rust (*Puccinia triticina*) // Discovery Agriculture. 2019. Vol. 5. Pp. 69–78.
16. Juliana P., Singh R. P., Singh P. K., et al. Genomic and pedigree-based prediction for leaf, stem, and stripe rust resistance in wheat // Theoretical and Applied Genetics. 2017. Vol. 130. No. 7. Pp. 1415–1430. DOI: 10.1007/s00122-017-2897-1.
17. Hei N. B. Evaluation of wheat cultivars for slow rusting resistance to leaf rust (*Puccinia triticina* Erikss) in Ethiopia // African Journal of Plant Science. 2017. Vol. 11 (2). Pp. 23–29. DOI: 10.5897/AJPS2016.1450.
18. Kumar M., Singh R. M., Prashar M., et al. Genetics of Partial Resistance to Leaf Rust (*Puccinia triticina*) in Bread Wheat (*Triticum aestivum*) // Agricultural research. 2016. Vol. 5. No. 1. Pp. 13–21. DOI: 10.1007/s40003-015-0190-6.
19. Skowrońska, R., Kwiatek, M., Tomkowiak, A., et al. Development of multiplex PCR to detect slow rust resistance genes Lr34 and Lr46 in wheat // Journal of applied genetics. 2019. Vol. 60. No. 3–4. Pp. 301–304. DOI: 10.1007/s13353-019-00520-z.
20. El-Orabey W. M., Hamwieh A., Ahmed S. M. Molecular markers and phenotypic characterization of adult plant resistance genes Lr34, Lr46, Lr67 and Lr68 and their association with partial resistance to leaf rust in wheat // Journal of genetics. 2019. Vol. 98. No. 82. DOI: 10.1007/s12041-019-1122-1.
21. Alekseeva T. P., Anpilogova L. K., Slyusarenko A. N., et al. Vliyanie vozdeleyaemykh sortov pshenitsy na napravlenie otbora genov virulentnosti vzbuditelya buroy rzhavchiny [Influence of cultivated wheat varieties on the direction of selection of virulence genes of the leaf rust pathogen] // Nauchnye doklady vysshey shkoly. Biologicheskije nauki. 1991. No. 1. P. 18. (In Russian.)
22. Volkova G. V. Struktura i izmenchivost' populyatsiy vzbuditelya buroy i zheltoy rzhavchiny pshenitsy na Severnom Kavkaze i obosnovanie priemov upravleniya vnutripopulyatsionnymi protsessami: dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora biologicheskikh nauk [Structure and variability of populations of pathogens of brown and yellow rust of wheat in the North Caucasus and the substantiation of methods for managing intrapopulation processes: dissertation for the degree of doctor of biological sciences]. Saint Petersburg: All-Russian Research Institute of Plant Protection, 2006. 426 p. (In Russian.)
23. Kol'bin D. A., Volkova G. V. Vliyanie vozdeleyaemykh sortov ozimoy pshenitsy na napravlenie otbora genov virulentnosti vzbuditelya buroy rzhavchiny na yuge Rossii [Influence of cultivated varieties of winter wheat on the direction of selection of virulence genes of the causative agent of leaf rust in the south of Russia] // The Bulletin of KrasGAU. 2011. No. 9 (60). Pp. 59–64. (In Russian.)
24. Roelfs A. P., Singh R. P., Saari E. E. Rust diseases of wheat: concepts and methods management. Mexico: CIMMIT, 1992. 81 p.
25. Koyshibaev M., Sagitov A. O. Zashchita zernovykh kul'tur ot osobo opasnykh bolezney: rekomendatsii [Protection of grain crops from especially dangerous diseases: recommendations]. Almaty, 2012. 33 p. (In Russian.)
26. Volkova G. V., Anpilogova L. K., Alekseeva T., et al. Tipy ustoychivosti sortov pshenitsy k kompleksu patogenov i effektivnye geny rasteniya-khozyaina v usloviyakh Severnogo Kavkaza: prakticheskie rekomendatsii [types of resistance of wheat varieties to a complex of pathogens and effective genes of the host plant in the North Caucasus: practical recommendations]. Saint Petersburg, 2009. 32 p. (in Russian.)
27. Wolfe M. S., Schwarzbach E. The use of virulence analysis in cereal mildews // Phytopathologische Zeitschrift. 1975. Vol. 82. Pp. 297–307. DOI: 10.1111/j.1439-0434.1975.tb03495.x.
28. Martens J. W. Stem rust of east in Canada in 1967 // Canadian Plant Disease Survey. 1968. Vol. 48. No. 1. Pp. 17–19.
29. Kosman E., Leonard K. J. Conceptual analysis of methods applied to assessment of diversity within and distance between populations with asexual or mixed mode of reproduction // New Phytologist. 2007. Vol. 174. Pp. 683–696. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2007.02031.x.

Authors' information:

Galina V. Volkova¹, doctor of biological sciences, chief researcher, head of the laboratory of immunity of cereal crops to fungal diseases, ORCID 0000-0003-4033-7524, AuthorID 98216; +7 918 374-76-78, galvol2011@yandex.ru

Olga A. Kudina¹, candidate of biological sciences, researcher of the laboratory of immunity of grain crops to fungal diseases, ORCID 0000-0002-0568-4312, AuthorID 704897; +7 952 853-34-08, alosa@list.ru

Olga F. Vaganova¹, researcher of the laboratory of immunity of grain crops to fungal diseases, ORCID 0000-0003-2345-2643, AuthorID 98215; +7 938-435-58-34, vof54@mail.ru

¹All-Russian Scientific Research Institute for Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia