

Защита растений

УДК 632.4.01/08

DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019623-26>

РАЗНООБРАЗИЕ ФЕНОТИПОВ ВИРУЛЕНТНОСТИ ПОПУЛЯЦИИ *Puccinia triticina* В РАЗЛИЧНЫХ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА*

Г.В. Волкова, доктор биологических наук,
О.А. Кудинова, кандидат биологических наук, **О.Ф. Ваганова**

*Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений,
350039, Краснодар, 39
E-mail: galvol@bpp.yandex.ru*

*Проанализирован фенотипический состав северокавказской популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы (*Puccinia triticina* Erikks.) в различных агроклиматических зонах региона в 2016-2018 гг. Изучено 233 монопустьных изолята, из которых идентифицировано 212 фенотипов вирулентности. Во все годы исследований установлен высокий уровень разнообразия популяции (индекс Шеннона (Sh) составил 0,92-0,99). В 2016 г. доминировал фенотип PHRS, который был идентифицирован в южной предгорной, западной приазовской и восточной степной агроклиматических зонах. В популяции этого года преобладали фенотипы с высоким и средним числом аллелей вирулентности. В 2017 г. наиболее представлены фенотипы DCRL, LBLL (западная приазовская зона) и PCQB (северная зона). Авирulentный фенотип BBBB был общим для популяций 2016-2018 гг. В 2016 г. впервые обнаружен фенотип с вирулентностью к линии, несущей ген Lr9 (TLGS). В 2017 и 2018 гг. в популяциях гриба выявлены фенотипы, вирулентные к линии с геном Lr24 (PKTT, SFGQ, CFPQ, TKTS, MKTT, LKSR). Установлен высокий уровень различий популяций по фенотипическому составу между годами исследований (индекс Роджерса (R) составил 0,96 -0,99).*

DIVERSITY OF VIRULENCE PHENOTYPES OF *Puccinia triticina* IN DIFFERENT AGROCLIMATIC ZONES OF THE NORTH CAUCASUS

Volkova G.V., Kudinova O.A., Vaganova O.F.

*All-Russian Scientific Research Institute of Biological Plant Protection,
350039, Krasnodar, 39
E-mail: galvol@bpp.yandex.ru*

*The phenotypic composition of the North Caucasian population of wheat leaf rust pathogen (*Puccinia triticina* Erikks.) in various agro-climatic zones of the region in 2016-2018 is analyzed. 233 single pustule isolates were studied, of which 212 virulence phenotypes were identified. In all the years of research, a high level of population diversity was established (the Shannon index (Sh) was 0.92-0.99). The dominant phenotype in 2016 was the PHRS phenotype, which was identified in the southern foothill, western Azov and eastern steppe agro-climatic zones. In the population of 2016, phenotypes with a high and medium number of virulence genes prevailed. In 2017, the most represented are the phenotypes of DCRL, LBLL (Western Azov zone) and PCQB (Northern zone). Avirulent phenotype BBBB was common for populations of 2016-2018. In 2016, a phenotype with virulence to Lr9 (TLGS) was first detected. In 2017 and 2018, phenotypes virulent to the Lr24 gene (PKTT, SFGQ, CFPQ, TKTS, MKTT, LKSR) were detected in the populations of the fungus. A high level of population differences in phenotypic composition between the years of research was established (Rogers index (R) was 0.96 -0.99).*

Ключевые слова: озимая пшеница, бурая ржавчина, фенотип вирулентности, разнообразие, агроклиматические зоны

Key words: winter wheat, leaf rust, virulence phenotype, diversity, agro-climatic zones

Северо-Кавказский регион – основной по возделыванию озимой пшеницы, посевная площадь которой составляет 55% всех посевов озимых в Российской Федерации. Эта культура подвержена ряду опасных фитопатогенов, среди которых возбудитель бурой ржавчины (*Puccinia triticina* Erikks.) – один из вредоносных и распространенных [1]. В связи с благоприятным для развития патогена климатом и большими площадями выращивания растения-хозяина бурая ржавчина остается значимой болезнью пшеницы на Северном Кавказе [2]. Поэтому разработка эффективных методов защиты от вредоносного патогена особенно актуальна для данного региона. Традиционно на больших площадях возделывания болезнь контролируется посредством применения эффективных фунгицидов. Но усиливающаяся экологизация сельскохозяйственного производства требует безопасных методов защиты пшеницы от бурой ржавчины, таких как возделывание сортов, защищенных генами устойчивости к болезни [3]. Известно,

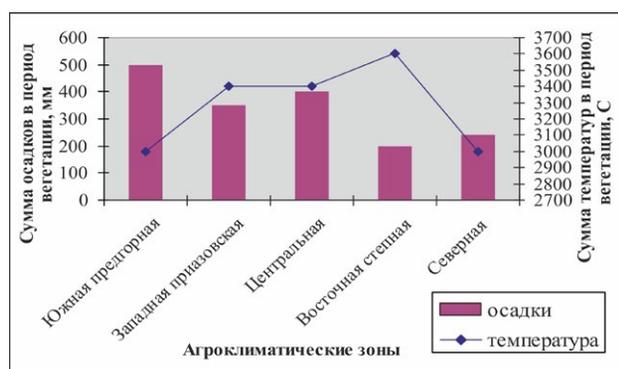
что для правильного и эффективного использования потенциала различных сортов необходима научно обоснованная стратегия сорторазмещения по агроландшафтным нишам и правильной сортосмены [4]. Важны также знания о динамике фенотипического состава популяции патогена в различных агроклиматических зонах, различающихся по тепло- и влагообеспеченности. Поэтому ежегодные исследования вирулентности и фенотипического состава популяции бурой ржавчины проводят в различных регионах мира [5-7]. В России подобные работы выполняют в основных зернопроизводящих регионах. Изучают вирулентность гриба в Нижнем Поволжье, на Урале, в Западно-Сибирском, Северо-Западном и Центральном регионах [8-12]. Так, в Северо-Кавказском регионе описана вирулентность популяции возбудителя бурой ржавчины в различных агроклиматических зонах в 2006-2015 гг. [2,13,14].

Целью настоящей работы был анализ фенотипического состава северокавказской популяции *P. triticina* в

* Исследования выполнены согласно Государственному заданию № 075-00376-19-00 Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № 0686-2019-0008.

2016-2018 гг. в пяти агроклиматических зонах, а также выявление общих и доминирующих фенотипов, оценка фенотипического разнообразия и уровня различий популяции гриба по годам исследований.

Методика. Для сбора инфекционного материала ежегодно (в фазе молочно-восковой спелости зерна) выполняли маршрутные обследования селекционных и производственных посевов озимой пшеницы в пяти агроклиматических зонах региона, различающихся по тепло- и влагообеспеченности (рис.). Листья, пораженные болезнью, были собраны на посевах пшеницы в каждой агроклиматической зоне и использованы для выделения монопустьльных изолятов гриба. Получение монопустьльных изолятов, их размножение проводили по существующим методикам [14].



Характеристика агроклиматических зон Северного Кавказа по тепло- и влагообеспеченности [20].

Для анализа вирулентности изолятов *P. triticina* использовали 16 близкоизогенных линий Thatcher с генами *Lr*: 1, 2a, 2c, 3, 9, 16, 24, 26, 3ка, 11, 17, 30, B, 10, 14a, 18. Растения каждой линии выращивали в вазонах (50 мл) на гидропонике с применением питательного раствора Кнопа [15]. В возрасте одного листа их инокулировали суспензией спор монопустьльного изолята. После влажной камеры растения содержали при 18-20°C, интенсивности освещения до 15 тыс. лк и влажности воздуха 60-70%. На 10-14-й день по шкале Mains и Jackson [16] регистрировали инфекционные типы (IT) как высокие (IT от 3 до 4), так и низкие (IT от 0 до 2).

Буквенное обозначение фенотипов проводили согласно североамериканской номенклатуре [17]. Разнообразие популяции по фенотипическому составу оценивали по индексу Shannon [18]. Различия между популяциями по фенотипам вирулентности оценивали с помощью индекса Роджера [19]:

$$H_r = \frac{1}{2} \sum (pi1-pi2)$$

где pi_1 – частота i -го фенотипа в первой популяции; pi_2 – частота i -го фенотипа во второй популяции.

Результаты и обсуждение. В условиях 2016 г. складывающиеся погодные условия благоприятствовали развитию фитопатогенов на озимых зерновых колосовых культурах. Бурая ржавчина пшеницы была отмечена во всех пяти агроклиматических зонах региона. В вегетационном сезоне 2017 г. условия ранневесеннего периода были благоприятными для роста и развития озимых. Однако частые дожди в июне и пониженный температурный режим задерживали созревание пше-

ницы и создавали условия для развития болезней. Бурая ржавчина была выявлена в четырех агроклиматических зонах (кроме восточной степной) с максимальным развитием в центральной зоне (6,8 %). 2018 г. был неблагоприятным для развития фитопатогенов. На фоне аномально жаркой погоды апреля-июня наблюдали значительный дефицит осадков (20-30% нормы), что способствовало развитию почвенной и атмосферной засухи, которая к концу июня достигла критериев опасного явления. Относительная влажность воздуха снижалась до 45-55 %, что на 15-20% ниже нормы. В связи с этим бурая ржавчина была отмечена в трех агроклиматических зонах – южной предгорной, западной приазовской и центральной (с развитием до 1-2 %).

В 2016-2018 гг. изучено 233 монопустьльных изолята *P. triticina*, из которых идентифицировано 212 фенотипов вирулентности. Как и в предыдущие годы [13, 14], популяция возбудителя бурой ржавчины в регионе продолжает оставаться высокоразнообразной (табл. 1). При этом максимальное разнообразие по фенотипическому составу выявлено в популяции 2017 г. Несмотря на неблагоприятные условия вегетационного сезона 2018 г., разнообразие популяции *P. triticina* сохранилось на высоком уровне.

Табл. 1. Характеристика разнообразия популяции *P. triticina* на Северном Кавказе по фенотипическому составу

Характеристика популяции	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Число изолятов, шт.	90	82	61
Число фенотипов, шт.	76	79	57
Число уникальных фенотипов, шт.	70	76	54
Индекс разнообразия, Sh	0,92	0,99	0,97

Фенотипы вирулентности в пяти агроклиматических зонах приведены в табл. 2, формулы вирулентности (неэффективные гены) доминирующих и повторяющихся фенотипов – в табл. 3. В 2016 г. из 90 монопустьльных изолятов было идентифицировано 76 фенотипов. Фенотипы PHRS, THRS, PGRS, PBMJ, PBRQ, BBBB, MHTT были повторяющимися, остальные – уникальными. В 2016 г. доминировал фенотип PHRS, который был идентифицирован в южной предгорной, западной приазовской и восточной степной агроклиматических зонах. Фенотип THRS встречался в центральной и восточной степной зонах, PGRS – в западной приазовской и восточной степной, PBRQ – в южной предгорной зоне. Эти фенотипы содержат среднее число аллелей вирулентности. Кроме вирулентных, в 2016 г. повторялись также авирулентные (BBBB) и слабовирулентные (PBMJ) фенотипы. В целом в популяции 2016 г. преобладали фенотипы с высоким и средним числом аллелей вирулентности.

В 2017 г. доминировали фенотипы DCRL, LBLL (западная приазовская зона) и PCQB (северная зона). Авирулентный фенотип BBBB обнаружен, как и в 2016 г., в северной зоне с недостаточной тепло- и влагообеспеченностью (рис.). В 2017 и 2018 гг. в южной предгорной зоне преобладали фенотипы группы B (BBBB, BBBL, BBBD, BHDT, BHLD, BBVG, BBVC, FBVV, KBBD, QBLL, QBBB), содержащие минимальное число аллелей вирулентности. Это может быть связано как с биотическими (сортовой состав), так и абиотическими

Табл. 2. Фенотипический состав северокавказской популяции *P. tritricina* в различных агроклиматических зонах, 2016-2018 гг.

Год	Агроклиматическая зона	Число изолятов, шт.	Фенотипы
	Западная приазовская	11	PHRS , PGRS , PCQJ, SBMN, CBMQ, FHMG, DBCL, PBMJ , LBRL
	Центральная	28	MCPB, MCKJ, TGPД, THRS , THTS, THRR, THTQ, TCTS, PDLG, PBSS, PQBB, PCTT, PCTS, PHTS, PHSJ, PHRS , BBBB , BCCB, LHLH, CGPD, NHKL, NCCJ, NHTL, FGTD, FGТG, QHPH, QGRQ, GBRС
	Восточная степная	18	MHRS, MCRQ, THRS , THRQ, TBQS, PHRS , PHMQ, PHRQ , PCQQ, PHRN, PGRS , LBBL, FHRG, FCMJ, FHHS, FCMJ,
	Северная	16	MBGG, MBGL, PHRT, PGTN, PGKL, PGRL , BBBB , BBBL, LBCL, NHSJ, FHTQ, KBML, HHTG, HHRN, DBNB, TCCS
2017	Южная предгорная	24	MBLS, MBBG, TBBD, TBBL, TBBS, BVBG, BBCB, RBHB, RBHB, CBCL, CBLG, NCRQ, NGBD, NBGM, NBCB, FGBG, FBHB, FBBB, KBBB, QBLL, QBBB, HBBG, HBCN, GBBL
	Западная приазовская	26	MBRB, MBFB, PHMJ, PGDQ, PGDQ, PCRC, PGMJ, BCBM, LBLL , LDBD, CGRP, NBHN, NHGR, FGPL, FBQB, FBTV, FBRG, HCMQ, DBRG, DCRL , DGBL, DGBG, DCBG, DGNL
	Центральная	17	MBSG, TGRJ, TBHS, PBCB, PGTO, PHRQ , PGRL , RGRN, RHTG, LCLN, NHRH, FCTS, FGTK, FCTG, FBMG, GGRS, DCTQ
	Северная	14	THQT, TCQQ, PCQB , BBBB , SHBL, LCLB, CCGB, CBLG, NGBB, FHGB, FGLB, FBLB, JBLB
2018	Южная предгорная	18	MJTM, MHJP, MGLS, TKTS, PBJС, PKPQ, BHLQ, BBBB , BBDT, BBVL, BHDТ, LHSC, LHRQ, LGTR, LGRT, CHMT, NHPT
	Западная приазовская	20	MHTT , MNMH, MDTT, MBTL, MGTR, MBTR, MJPT, MKTT, MHPT, MCLK, PHTR, PKTT , RHNT, LHТT, LKSR, CGTS
	Центральная	21	MHTR, MMRG, MHTN, MHST, TGPT, PCTD, PHQL, PHTD, PHTQ, PHTG, PHTK, PCTQ, PHTT, PCPR, PCTL, KGHS, BCDR, SHTT, SFGQ, CFPQ, NCSN

* Повторяющиеся фенотипы в пределах зоны или между зонами.

(пониженная теплообеспеченность зоны) факторами. В западной приазовской и центральной зоне преобладали фенотипы с высоким содержанием аллелей вирулентности (MHTT, MDTT, SHTT, PHTT, PHTQ и др.). Из табл. 3 видно, что в 2018 г. повторяются фенотипы *P. tritricina*, которые авирулентны (BBBB) или содержат большое число аллелей вирулентности (MHTT, PKTT). В 2017 и 2018 гг. в популяциях гриба отмечали фенотипы, вирулентные к линии с геном *Lr24* (например, PKTT, SFGQ, CFPQ, TKTS, MKTT, LKSR). Одиночные изоляты, вирулентные к данной линии, были отмечены в северокавказской популяции и в предыдущие годы [13, 14]. В 2016 г. впервые обнаружен фенотип с

Табл. 3. Вирулентность и частота (%) повторяющихся фенотипов северокавказской популяции *P. tritricina*, 2016-2018 гг.

Фенотип вирулентности	Вирулентность (неэффективные гены)	Шт./частота, %		
		2016 г.	2017 г.	2018 г.
PHRS	1, 2c, 3, 16, 26, 3ka, 11, B, 10, 14a	9/9,9	0	0
THRS	1, 2a, 2c, 3, 16, 26, 3ka, 11, B, 10, 14a	2/2,2	0	0
PGRS	1, 2c, 3, 16, 3ka, 11, B, 10, 14a	3/3,3	0	0
PHRQ	1, 2c, 3, 16, 26, 3ka, 11, B, 10	1/1,1	1/1,2	0
PGRL	1, 2c, 3, 16, 3ka, 11, B	1/1,1	1/1,2	0
PBMJ	1, 2c, 3, 11, 10, 14a	2/2,2	0	0
PBRQ	1, 2c, 3, 16, 26, 3ka, 11, B, 10	2/2,2	0	0
BBBB	0	2/2,2	1/1,2	2/3,3
DCRL	2c, 26, 3ka, 11, B	0	2/2,4	0
LBLL	1, 3ka, B	0	2/2,4	0
PCQB	1, 2c, 3, 26, 3ka, 11	0	2/2,4	0
MHTT	1, 3, 16, 26, 3ka, 11, 17, 30, B, 10, 14a, 18	2/2,2	0	1/1,6
PKTT	1, 2c, 3, 16, 24, 26, 3ka, 11, 17, 30, B, 10, 14a, 18	0	0	3/4,9

вирулентностью к линии, содержащей *Lr9* (TLGS). В предыдущие годы таковых не наблюдалось [13], хотя в других регионах этот ген уже потерял эффективность [9, 11]. В целом различия по фенотипическому составу гриба между годами, оцениваемые с помощью индекса Роджерса (R), существенные для каждой пары сравниваемых популяций (для 2016 и 2017 гг. R = 0,96, 2017 и 2018 гг. – 0,97, 2016 и 2018 гг. – 0,99). Таким образом, в 2016-2018 гг. проведен мониторинг фенотипического состава популяции *P. tritricina* в различных агроклиматических зонах Северного Кавказа. Из проанализированных 233 монопустьельных изолята гриба идентифицировано 212 фенотипов. Выявлены повторяющиеся фенотипы в каждой агроклиматической зоне. Впервые обнаружен фенотип с вирулентностью к линии, содержащей *Lr9* (TLGS). Установлен высокий уровень фенотипического разнообразия северокавказской популяции гриба (Sh=0,92-0,99), а также существенный уровень различий популяции *P. tritricina* по фенотипическому составу между годами исследований (R= 0,96 -0,99).

Литература

1. Kolmer, J.A., Hughes, M.E. Physiologic specialization of *Puccinia tritricina* on wheat in the United States in 2012. // *Plant Disease*. – 2014. – V. 98. – P. 1145-1150. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-12-13-1267-SR>
2. Волкова Г.В., Анпилогова Л.К., Ваганова О.Ф., Авдеева Ю.В. Характеристика популяции возбудите-

- ля бурой ржавчины пшеницы по вирулентности в пяти агроклиматических зонах Северного Кавказа // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2011. – №4. – С. 31-33.
3. Гульмяева Е.И., Шаманин В.П., Шайдаюк Е.Л., Потоцкая И.В., Пожерукова В. Е., Кузьмин О. Г. Фенотипический состав *Puccinia triticina* на образцах мягкой пшеницы в Омской области в 2016 г. // Вестник НГАУ. – 2017. – № 2. (43). – С. 16–23.
 4. Зазимко М.И., Фетисов Д.П., Егоров С.С., Малыхина А. Н. Роль сорта в защите озимой пшеницы // Защита и карантин растений. – 2008. – №6. – С. 11–13.
 5. Kolmer J.A., Hughes M.E. Physiologic specialization of *Puccinia triticina* on wheat in the United States in 2016 // *Plant disease*. – 2018. – V. 102. – №6, – P. 1066-1071. <https://doi.org/10.1094/PDI-11-17-1701-SR>
 6. Bhardwaj S.C., Gangwar O.P., Prasad P., Kumar S., Khan H., Gupta N. Physiologic specialization and shift in pathotypes on wheat in Indian subcontinent during 2013–2016 // *Indian Phytopathology*. – 2019. – V. 72. – P. 23. <https://doi.org/10.1007/s42360-018-00110-9>
 7. Liu T.G., Chen W.Q. Race and virulence dynamics of *Puccinia triticina* in China during 2002–2006 // *Plant Disease*. – 2012. – V. 96. – P. 1601–1607. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-10-0460-RE>
 8. Тырышкин Л.Г., Захаров В. Г., Сюков В. В. Сравнительная характеристика вирулентности *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. syn.: *Puccinia triticina* Erikss. в среднем Поволжье // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2014. – 18(2). – С. 373–377.
 9. Тюнин В.А., Шрейдер Е.Р., Гульмяева Е.И., Шайдаюк Е.Л. Вирулентность возбудителя бурой ржавчины пшеницы на Южном Урале // Вестник защиты растений. – 2018. – 1(95). – С. 16-20.
 10. Коваленко Е.Д., Жемчужина А.И., Киселева М.И., Коломиец Т.М., Щербик А.А. Стратегия селекции пшеницы на устойчивость к ржавчинным заболеваниям // Защита и карантин растений. – 2012. – № 9. – С. 19-22.
 11. Гульмяева Е.И., Косман Е., Дмитриев А.П., Баранова О.А. Структура популяций *Puccinia triticina* по вирулентности и ДНК-маркерам в Северо-Западном регионе РФ в 2007 году // Микология и фитопатология. – 2011. – 45 (1). – С. 70-81.
 12. Мешкова Л.В., Плотникова Л.Я., Штубей Т.Ю., Алексеева О.А., Отт А. А. Перспективные гены и генные комбинации для защиты мягкой пшеницы от бурой ржавчины в Западной Сибири. // Вестник Россельхозакадемии. – 2011. – №2. – С. 50-52.
 13. Волкова Г.В., Анпилогова Л.К., Полушин П.А., Ваганова О. Ф. Характеристика популяции бурой ржавчины по вирулентности в Северо-Кавказском регионе // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2013. – № 2. – С. 45-48.
 14. Волкова Г.В., Кудинова О.А., Гладкова Е.В., Ваганова О.Ф., Данилова А.В., Матвеева И.П. Вирулентность популяций возбудителей ржавчины зерновых колосовых культур (учебное пособие). – Краснодар, 2018. – 38 с.
 15. Смирнова Л.А., Алексеева Т.П. Усовершенствованный метод выращивания всходов зерновых культур для иммунологических исследований // Селекция и семеноводство. – 1988. – №4. – С. 25-27.
 16. Mains E. B., Jackson H. C. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat: *Puccinia triticina* Erikss // *Phytopathology*. – 1926. – V. 16(1). – P. 89-120.
 17. Long D.L., Kolmer J.A. A North American System of Nomenclature for *Puccinia triticina*. // *Phytopathology*. 1989. – V. 79. – P. 525-529.
 18. Kolmer J. A., Long D. L., Kosman E., Hughes M. E. Physiologic specialization of *Puccinia triticina* on wheat in the United States in 2001 // *Plant Disease*. – 2003. – V. 87. – P. 859-866.
 19. Rogers J. S. Measures of genetic similarity and genetic distance. *Studies in Genetics*. University of Texas. Austin., 1972. – P.143-145.
 20. Батова В. М. Агроклиматические ресурсы Северного Кавказа. – Л., 1966. – С. 132-143.

Поступила в редакцию 22.04.19
Принята к публикации 01.07.19