

Научная статья

УДК 634.75:577.2:632.4

EDN WGBCHU

DOI: 10.22450/199996837_2022_3_12

Молекулярный скрининг маркера гена устойчивости к антракнозной чёрной гнили (ген *Rca2*) генетической коллекции земляники

Александр Сергеевич Лыжин¹, Ирина Васильевна Лукьянчук²

^{1,2} Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина

Тамбовская область, Мичуринск, Россия

¹ Ranenburzhetc@yandex.ru, ² irina.lk2011@yandex.ru

Аннотация. Антракнозная чёрная гниль (*C. acutatum*) – опасное заболевание земляники садовой. Создание устойчивых к антракнозу сортов является актуальным направлением в селекции земляники. С использованием диагностического ДНК-маркера STS-*Rca2*_240 ген *Rca2*, контролирующей устойчивость земляники к изолятам *C. acutatum* второй группы патогенности, идентифицирован у 4 сортов, что составляет 16,7 % от общего числа проанализированных генотипов. Среди отечественных генотипов земляники ген *Rca2* выявлен у сорта Боровицкая, среди сортов зарубежной селекции – у сортов Laetitia, Portola и Selva. Остальные проанализированные генотипы характеризуются гомозиготным состоянием аллеля *rca2* и, следовательно, восприимчивостью к антракнозу. У сорта Боровицкая аллель резистентности *Rca2* присутствует в гетерозиготной форме, у сортов Laetitia, Portola, Selva – в гомозиготной или гетерозиготной форме. Указанные сорта рекомендуются в качестве перспективных генетических источников гена *Rca2* для селекции на устойчивость к *C. acutatum* второй группы патогенности.

Ключевые слова: земляника садовая, сорт, устойчивость, селекция, молекулярные маркеры, антракноз, ген *Rca2*

Для цитирования: Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. Молекулярный скрининг маркера гена устойчивости к антракнозной чёрной гнили (ген *Rca2*) генетической коллекции земляники // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Том 16. № 3. С. 12–19. doi: 10.22450/199996837_2022_3_12.

Original article

Molecular screening of resistance gene marker to the anthracnose black rot (the *Rca2* gene) of strawberry genetic collection

Alexander S. Lyzhin¹, Irina V. Lukyanchuk²

^{1,2} I. V. Michurin Federal Scientific Center, Tambov region, Michurinsk, Russia

¹ Ranenburzhetc@yandex.ru, ² irina.lk2011@yandex.ru

Abstract. Anthracnose (*C. acutatum*) is a dangerous strawberry disease. The creation of varieties resistant to anthracnose is an important direction of strawberry breeding. Using the diagnostic DNA marker STS-*Rca2*_240, the *Rca2* gene, which controls strawberry resistance to *C. acutatum* isolates of pathogenicity group 2, was identified in four strawberry varieties, which was 16.7 % of the total number of analyzed genotypes. Among Russian strawberry genotypes, the *Rca2* gene was detected in the variety Borovitskaya. Among foreign strawberry genotypes, the *Rca2* gene was detected in the varieties Laetitia, Portola and Selva. The remaining analyzed strawberry genotypes are characterized by the homozygous state of the *rca2* allele and, therefore, susceptibility to anthracnose. In the Borovitskaya variety, the *Rca2* resistance allele is present in the heterozygous form. In the Laetitia, Portola and Selva varieties, the *Rca2* resistance allele is present in homozygous or heterozygous form. These strawberry varieties are recommended as promising genetic

sources of the *Rca2* gene in breeding for resistance to *C. acutatum* pathogenicity group 2.

Keywords: garden strawberry, variety, resistance, breeding, molecular markers, anthracnose, *Rca2* gene

For citation: Lyzhin A. S., Lukyanchuk I. V. Molekulyarnyj skrining markera gena ustojchivosti k antraknoznoj chyornoj gnili (gen *Rca2*) geneticheskoy kollekcii zemlyaniki [Molecular screening of resistance gene marker to the anthracnose black rot (the *Rca2* gene) of strawberry genetic collection]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2022; 16; 3: 12–19. (in Russ.). doi: 10.22450/199996837_2022_3_12.

Введение. Земляника садовая – одна из наиболее популярных и распространённых ягодных культур, которая ценится потребителями за скороплодность, ранний срок созревания, отличные вкусовые качества, аромат и богатый биохимический состав плодов. При этом растения земляники подвержены большому количеству вредоносных организмов (грибы, бактерии, вирусы, насекомые, клещи). К числу важнейших заболеваний земляники относятся мучнистая роса пятнистости листьев, гнили плодов и корневой системы [1, 2].

Возбудителями антракнозной чёрной гнили (антракноза) земляники являются фитопатогенные грибы рода *Colletotrichum*: *Colletotrichum acutatum* J. H. Simmonds, *C. fragariae* A. N. Brooks, *C. gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. [3]. В умеренном климатическом поясе наибольшей вредоносностью характеризуется *C. acutatum*, являющийся согласно современным исследованиям не одним видом, а видовым комплексом [4, 5].

В результате массового распространения антракноза в насаждениях земляники потери товарного урожая могут достигать 80 % [6, 7]. В настоящее время в странах Евразийского экономического союза (в том числе и в России) *C. acutatum* относится к числу карантинных патогенов [8].

У сортов земляники идентифицировано несколько генетических факторов устойчивости к антракнозной чёрной гнили. Локус *FaRca1* контролирует устойчивость к изолятам *C. acutatum* первой группы патогенности [9], доминантный ген *Rca2* – к изолятам *C. acutatum* второй группы патогенности [10]. Впоследствии для указанных генов были разработаны диагностические ДНК-маркеры, что позволяет проводить оценку генотипов земляники по устойчивости к антракнозу не

по фенотипическому проявлению признака, а непосредственно по наличию генетических детерминант [9, 11].

Целью исследования явилась идентификация аллельного состояния гена *Rca2* устойчивости к антракнозной чёрной гнили у сортов земляники садовой для выявления перспективных в селекции на устойчивость к грибным патогенам форм.

Методы исследований. Биологическими объектами исследования являлись сорта земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) генетической коллекции Федерального научного центра имени И. В. Мичурина, интродуцированные из различных эколого-географических регионов происхождения (табл. 1).

Экстракцию тотальной ДНК сортов земляники проводили с использованием модифицированного СТАВ метода [12].

Детекцию гена *Rca2* в геноплазме сортов земляники проводили с использованием доминантного SCAR маркера STS-*Rca2*_240 (CAC_240_2F_5'-GCCACGTCACTAGTCAAATTCAA-3', CAC_240_2RB

5-TCATGGACAGTGGTCTCAGC-3), который локализован на расстоянии 2,8 см от гена. SCAR маркер STS-*Rca2*_240 является доминантным и на электрофореграмме представлен ампликоном размером 240 п. н. (соответствует аллелю резистентности *Rca2*) [11].

Для исключения ложноотрицательных результатов вследствие ингибирования ПЦР маркер STS-*Rca2*_240 мультиплексировали с микросателлитным маркером EMFv020 (for 5'-CAGGCGCCAACGGCGTGCTTGT-3', rev 5'-CAGCGCCGCCAGCTCATCCCTAGG-3'). Целевой продукт маркера EMFv020 амплифицируется у всех генотипов земляники независимо от наличия аллеля резистентности *Rca2* [13].

Таблица 1 – Анализируемые сорта земляники садовой

Сорт	Оригинатор, страна происхождения
Боровицкая	Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Россия
Царица	
Ласточка	
Памяти Зубова	Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина, Россия
Привлекательная	
Рубиновый каскад	
Крымчанка 87	
Юниол	Ордена трудового красного знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, Крым, Россия
Antea	
Clery	CIV, Италия
Laetitia	
Murano	
Quicky	
Asia	
Kimberly	New Fruits, Италия
Vima Xima	Gebr. Vissers, Нидерланды
Elsanta	Vissers International BV, Нидерланды
Korona	
Ostara	
Salsa	PRI, Нидерланды
Portola	Fresh Forward B. V., Нидерланды
Selva	
Flamenco	University of California Davis, США
Kent	East Malling Research Station, Великобритания
	Atlantic Food and Horticulture Research Centre, Канада

Праймеры для молекулярно-генетического анализа были синтезированы ЗАО «Синтол» (Россия). Контролем присутствия в геноме аллеля устойчивости *Rca2* являлся сорт Elianny, который согласно проведённым ранее исследованиям [14] характеризуется наличием гена *Rca2* в гомозиготной или гетерозиготной форме.

Полимеразную цепную реакцию с праймерами CAC_240_2F/CAC_240_2RB и EMFv020 for/rev проводили в общей реакционной смеси (мультиплексная ПЦР) объёмом 15 мкл, которая содержала 20 нг геномной ДНК, 2,0 мМ dNTPs, 2,5 мМ MgCl₂, 0,2 мМ каждого праймера (CAC_240_2F, CAC_240_2RB, EMFv020 for, EMFv020 rev), 0,8 U Taq-полимеразы и 1,5 мМ 10× Taq-буфера (+ (NH₄)₂SO₄, –MgCl₂). Все компоненты произведены фирмой Thermo Scientific (США).

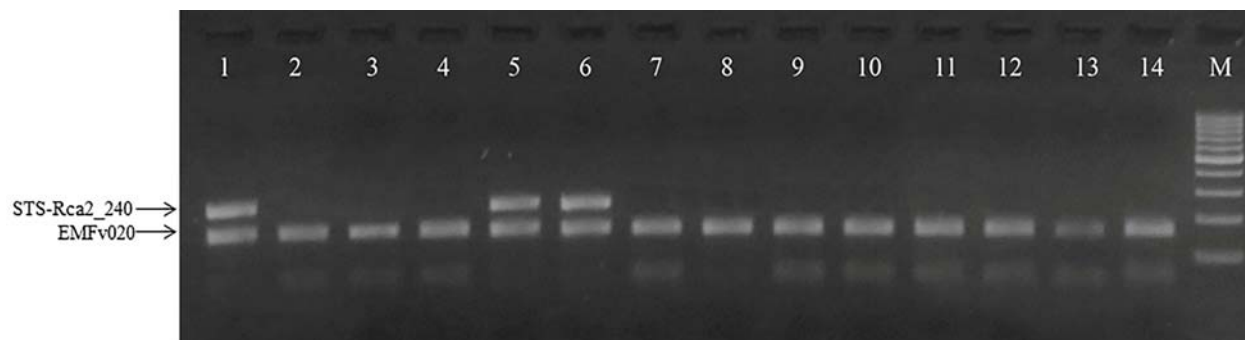
Аmplификацию проводили в термоциклере T100 (BIO-RAD, США) по

следующей программе: начальная денатурация при 95 °С – 3 мин.; 35 циклов: 95 °С – 50 с, 65 °С – 50 с, 72 °С – 1 мин; финальная элонгация при 72 °С – 5 мин.

Разделение продуктов амплификации осуществляли методом электрофореза в агарозном геле (концентрация агарозы – 2 %, буферная система – 1× TBE (трис-боратный буфер), напряжённость электрического поля при электрофорезе – 3,9–4,5 В/см).

Для определения длины амплифицированных фрагментов использовали маркер молекулярной массы Gene Ruler 100 bp DNA Ladder (Thermo Scientific, США).

Результаты исследований и обсуждение. В анализируемой коллекции земляники садовой маркер STS-*Rca2_240* выявлен у четырёх сортов, что составляет 16,7 % от общего числа проанализированных генотипов. Остальные проанализированные генотипы характеризуются гомозиготным состоянием аллеля *rca2* и, следовательно,



1 – Elianny (контроль), 2 – Крымчанка 87, 3 – Памяти Зубова, 4 – Clery, 5 – Selva, 6 – Portola, 7 – Antea, 8 – Юниол, 9 – Vima Xima, 10 – Ласточка, 11 – Kent, 12 – Elsanta, 13 – Царица, 14 – Ostara, M – маркер молекулярного веса ДНК

Рисунок 1 – Электрофоретический профиль маркеров STS-Rca2_240 и EMFv020 у сортов земляники садовой

Таблица 2 – Аллельное разнообразие гена *Rca2* устойчивости к антракнозной чёрной гнили у сортов земляники садовой

Сорт	Маркер STS-Rca2_240	Предполагаемый генотип по гену <i>Rca2</i>
Отечественной селекции		
Боровицкая	1	гетерозиготный
Крымчанка 87	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Ласточка	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Памяти Зубова	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Привлекательная	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Рубиновый Каскад	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Царица	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Юниол	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Зарубежной селекции		
Antea	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Asia	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Clery	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Elsanta	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Flamenco	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Kimberly	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Kent	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Korona	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Laetitia	1	гомозиготный (аллель <i>Rca2</i>) или гетерозиготный
Murano	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Ostara	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Portola	1	гомозиготный (аллель <i>Rca2</i>) или гетерозиготный
Quicky	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Salsa	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)
Selva	1	гомозиготный (аллель <i>Rca2</i>) или гетерозиготный
Vima Xima	0	гомозиготный (аллель <i>rca2</i>)

восприимчивостью к *C. acutatum*. Пример полученных электрофоретических профилей представлен на рисунке 1, результаты идентификации – в таблице 2.

Среди восьми сортов земляники садовой отечественной селекции маркер STS-Rca2_240 выявлен у одного генотипа (Боровицкая), что составляет 12,5 %, а из 16 сортов зарубежной селекции – у трёх форм (*Laetitia*, *Portola*, *Selva*) (18,7 %). Более широкое распространение гена *Rca2* в геноплазме зарубежных сортов отмечается и в проведённых нами ранее исследованиях [14, 15].

При этом в работе И. Э. Храброва с соавторами [16], посвящённой анализу 135 образцов земляники садовой из коллекции МОС ВИР, количество сортов отечественной селекции (Россия и страны СНГ) с идентифицированным аллелем *Rca2* составило 18,1 %, зарубежной селекции – 13,5 %.

Наличие целевого продукта маркера STS-Rca2_240 у сортов *Portola* и *Selva* подтверждается также исследованиями других авторов [17, 18]. Вместе с тем необходимо отметить, что в работе М. А. Miller-Butler с соавторами [17] маркер STS-Rca2_240 выявлен также у сорта *Elsanta*, который согласно нашим данным, а также данным других исследователей [11, 18], характеризуется гомозиготным состоянием аллеля *rca2* и целевой ампликон маркера STS-Rca2_240 не амплифицирует.

Так как используемый для диагностики маркер STS-Rca2_240 является доминантным, и не позволяет дифференцировать гетерозиготный и гомозиготный

по аллелю резистентности генотипы, то у сортов Боровицкая, *Laetitia*, *Portola* и *Selva* ген *Rca2* может присутствовать в двух состояниях: гомозиготном (аллель *Rca2*) или гетерозиготном.

Отечественный сорт земляники Боровицкая получен с использованием в качестве исходных форм сортов Надежда и Red Gauntlet. При этом сорт Red Gauntlet имеет гомозиготный генотип по аллелю *rca2* и является восприимчивым к антракнозу [14]. В связи с этим источником аллеля резистентности *Rca2* для сорта Боровицкая предположительно является сорт Надежда. Следовательно, сорт Боровицкая предположительно имеет гетерозиготный генотип.

Для зарубежных сортов земляники *Laetitia*, *Portola*, *Selva* сведения об аллельном состоянии гена *Rca2* исходных родительских форм отсутствуют. В связи с этим для уточнения аллельного состояния гена *Rca2* у указанных сортов необходимо проведение дополнительных исследований.

Заключение. Таким образом, на основании проведённого молекулярно-генетического анализа сортов земляники по маркеру STS-Rca2_240, сцепленному с геном *Rca2* устойчивости к антракнозной чёрной гнили, идентифицированы перспективные для селекции на устойчивость к грибным патогенам сорта земляники: Боровицкая, *Laetitia*, *Portola*, *Selva*, характеризующиеся наличием аллеля резистентности гена *Rca2* в гетерозиготной или гомозиготной форме.

Список источников

1. Лукьянчук И. В. Комплексная устойчивость земляники к белой и бурой пятнистостям // Плодоводство и ягодоводство России. 2013. Т. 36. № 1. С. 366–369.
2. Ahmed M. F. A., El-Fiki I. A. I. Effect of biological control of root rot diseases of strawberry using *Trichoderma* spp. // Middle East Journal of Applied Sciences. 2017. Vol. 7 (3). P. 482–492.
3. Smith B. J. Epidemiology and pathology of strawberry anthracnose: a North American perspective // HortScience. 2008. Vol. 43 (1). P. 69–73.
4. Оценка устойчивости сортов земляники садовой к антракнозной чёрной гнили в южном регионе / Н. А. Холод, Ю. П. Кащиц, Е. А. Добренков, Л. Г. Семёнова // Плодоводство и виноградарство юга России. 2018. № 51 (3). С. 140–148.
5. Karimi K., Arzanlou M., Pertot I. Weeds as potential inoculum reservoir for *Colletotrichum nymphaeae* causing strawberry anthracnose in Iran and Rep-PCR fingerprinting as useful marker to differentiate *C. acutatum* complex on strawberry // Frontiers in microbiology. 2019. Vol. 10. P. 129.

6. Антракноз земляники (*Colletotrichum acutatum* Simmonds) – опасное карантинное заболевание / И. Астарханов, М. Муцалханов, Э. Алиева [и др.] // Известия Дагестанского государственного аграрного университета. 2019. № 3. С. 84–87.
7. A novel strain of endophytic *Streptomyces* for the biocontrol of strawberry anthracnose caused by *Glomerella cingulate* / M. Marian, T. Ohno, H. Suzuki [et al.] // Microbiological Research. 2020. Vol. 234. P. 126428.
8. Кузнецова А. А., Дудченко И. П., Копина М. Б. Антракноз земляники, классические и современные методы диагностики // Современные подходы и методы в защите растений: материалы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Екатеринбург, 12–14 ноября 2018 г.). Екатеринбург : Уральский федеральный университет, 2018. С. 70–73.
9. *FaRCa1* confers moderate resistance to the root necrosis form of strawberry anthracnose caused by *Colletotrichum acutatum* / N. Salinas, Z. Fan, N. Peres [et al.] // HortScience. 2020. Vol. 1 (aop). P. 1–12.
10. The use of molecular markers for durable resistance breeding in the cultivated strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) / E. Lerceteau-Kohler, P. Roudeillac, M. Markocic [et al.] // Acta Hort. 2002. Vol. 567 (2). P. 615–618.
11. Lerceteau-Kohler E., Guerin G., Denoyes-Rothan B. Identification of SCAR markers linked to *Rca2* anthracnose resistance gene and their assessment in strawberry germplasm // Theoretical and Applied Genetics. 2005. Vol. 111. P. 862–870.
12. Lukyanchuk I. V., Lyzhin A. S., Kozlova I. I. Analysis of strawberry genetic collection (*Fragaria* L.) for *Rca2* and *Rpfl* genes with molecular markers // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018. Vol. 22. No. 7. P. 795–799.
13. Development of microsatellite markers in *Fragaria*, their use in genetic diversity analysis, and their potential for genetic linkage mapping / A. M. Hadonou D. J. Sargent, F. Wilson [et al.] // Genome. 2004. Vol. 47 (3). P. 429–438.
14. Лыжин А. С., Лукьянчук И. В., Жбанова Е. В. Полиморфизм сортов земляники (*Fragaria* × *ananassa*) по гену устойчивости к антракнозу *Rca2* // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. Т. 180. № 1. С. 73–77.
15. Лыжин А. С., Лукьянчук И. В., Жбанова Е. В. ДНК-анализ генотипов рода *Fragaria* L. по устойчивости к антракнозной чёрной гнили // Плодоводство и ягодоводство России. 2020. Т. 62. С. 53–58.
16. Молекулярный скрининг сортовой коллекции земляники ВИР на наличие маркера гена устойчивости к антракнозной чёрной гнили *Rca2* / И. Э. Храбров, О. Ю. Антонова, М. И. Шаповалов, Л. Г. Семенова // Биотехнология и селекция растений. 2021. № 4 (4). С. 15–24.
17. Comparison of anthracnose resistance with the presence of two SCAR markers associated with the *Rca2* gene in strawberry / M. A. Miller-Butler, B. J. Smith, B. R. Kreiser, E. K. Blythe // HortScience. 2019. Vol. 54 (5). P. 793–798.
18. Njuguna W. Development and use of molecular tools in *Fragaria*: dissertation ... Doctor of Philosophy. Oregon State University, 2010. 370 p.

References

1. Lukyanchuk I. V. Kompleksnaya ustoychivost' zemlyaniki k beloy i buroy pyatnistostyam [Strawberry complex resistance to white and brown spots]. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. – Pomiculture and small fruits culture in Russia*, 2013; 36; 1: 366–369 (in Russ.).
2. Ahmed M. F. A., El-Fiki I. A. I. Effect of biological control of root rot diseases of strawberry using *Trichoderma* spp. Middle East Journal of Applied Sciences, 2017; 7 (3): 482–492.
3. Smith B. J. Epidemiology and pathology of strawberry anthracnose: a North American perspective. HortScience, 2008; 43 (1): 69–73.
4. Holod N. A., Kashchits Y. P., Dobrenkov E. A., Semenova L. G. Otsenka ustoychivosti sortov zemlyaniki sadovoy k antraknoznoy chernoy gnili v yuzhnom regione [Evaluation of

stability of strawberry varieties to anthracnose black rot in the southern region]. *Plodovodstvo i vinogradarstvo yuga Rossii. – Fruit growing and viticulture of South Russia*, 2018; 51 (3): 140–148 (in Russ).

5. Karimi K., Arzanlou M., Pertot I. Weeds as potential inoculum reservoir for *Colletotrichum nymphaeae* causing strawberry anthracnose in Iran and Rep-PCR fingerprinting as useful marker to differentiate *C. acutatum* complex on strawberry. *Frontiers in microbiology*, 2019; 10: 129.

6. Astarkhanov I., Mutsalkhanov M., Aliyeva E., Darbisheva A., Magomedova P., Mideyev Z. Antraknoz zemlyaniki (*Colletotrichum acutatum* Simmonds) – opasnoye karantinnoye zabolevaniye [Strawberry anthracnose (*Colletotrichum acutatum* Simmonds) is a dangerous quarantine disease]. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Dagestan State Agrarian University Proceedings*, 2019; 3: 84–87 (in Russ.).

7. Marian M., Ohno T., Suzuki H., Kitamura H., Kuroda K., Shimizu M. A novel strain of endophytic *Streptomyces* for the biocontrol of strawberry anthracnose caused by *Glomerella cingulate*. *Microbiological Research*, 2020; 234: 126428.

8. Kuznetsova A. A., Dudchenko I. P., Kopina M. B. Antraknoz zemlyaniki, klassicheskiye i sovremennyye metody diagnostiki [Strawberry anthracnose, classical and modern diagnostic methods]. *Proceedings from Modern approaches and methods in plant protection: Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem (12–14 noyabrya 2018) – All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation*. (PP. 70–73), Ekaterinburg, Ural'skij federal'nyj universitet, 2018 (in Russ.).

9. Salinas N., Fan Z., Peres N., Lee S., Whitaker V. M. *FaRCa1* confers moderate resistance to the root necrosis form of strawberry anthracnose caused by *Colletotrichum acutatum*. *HortScience*, 2020; 1 (aop): 1–12.

10. Lerceteau-Kohler E., Roudeillac P., Markocic M., Guérin G., Praud K., Denoyes-Rothan B. The use of molecular markers for durable resistance breeding in the cultivated strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Acta Horti*, 2002; 567 (2): 615–618.

11. Lerceteau-Kohler E., Guerin G., Denoyes-Rothan B. Identification of SCAR markers linked to *Rca2* anthracnose resistance gene and their assessment in strawberry germplasm. *Theoretical and Applied Genetics*, 2005; 111: 862–870.

12. Lukyanchuk I. V., Lyzhin A. S., Kozlova I. I. Analysis of strawberry genetic collection (*Fragaria* L.) for *Rca2* and *Rpfl* genes with molecular markers. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2018; 22 (7): 795–799.

13. Hadonou A. M., Sargent D. J., Wilson F., James C. M., Simpson D. W. Development of microsatellite markers in *Fragaria*, their use in genetic diversity analysis, and their potential for genetic linkage mapping. *Genome*, 2004; 47 (3): 429–438.

14. Lyzhin A. S., Lukyanchuk I. V., Zhbanova E. V. Polimorfizm sortov zemlyaniki (*Fragaria × ananassa*) po genu ustoychivosti k antraknozu *Rca2* [Polymorphism of the *Rca2* anthracnose resistance gene in strawberry cultivars (*Fragaria × ananassa*)]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii. – Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 2019; 180 (1): 73–77. (in Russ.).

15. Lyzhin A. S., Lukyanchuk I. V., Zhbanova E. V. DNK-analiz genotipov roda *Fragaria* L. po ustoychivosti k antraknoznoy chornoy gnili [DNA-analysis of genotypes of the genus *Fragaria* L. for anthracnose resistance]. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. – Pomiculture and small fruits culture in Russia*, 2020; 62: 53–58. (in Russ.).

16. Khrabrov I. E., Antonova O. Yu., Shapovalov M. I., Semenova L. G. Molekulyarnyy skringing sortovoy kolleksii zemlyaniki VIR na nalichiyе markera gena ustoychivosti k antraknoznoy chornoy gnili *Rca2* [Molecular screening of the VIR strawberry varieties collection for the presence of a marker for the anthracnose black rot resistance gene *Rca2*]. *Biotekhnologiya i selektsiya rasteniy. – Plant Biotechnology and Breeding*, 2021; 4 (4): 15–24 (in Russ.).

17. Miller-Butler M. A., Smith B. J., Kreiser B. R., Blythe E. K. Comparison of anthracnose resistance with the presence of two SCAR markers associated with the *Rca2* gene in strawberry. *HortScience*, 2019; 54 (5): 793–798.

18. Njuguna W. Development and use of molecular tools in *Fragaria*. *Doctor's thesis*. Oregon State University, 2010, 370 p.

© Лыжин А. С., Лукьянчук И. В., 2022

Статья поступила в редакцию 12.06.2022; одобрена после рецензирования 08.09.2022; принята к публикации 14.09.2022.

The article was submitted 12.06.2022; approved after reviewing 08.08.2022; accepted for publication 14.09.2022.

Информация об авторах

Лыжин Александр Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина, Ranenburzhetc@yandex.ru;

Лукьянчук Ирина Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина, irina.lk2011@yandex.ru

Information about authors

Alexander S. Lyzhin, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, I. V. Michurin Federal Science Center, Ranenburzhetc@yandex.ru;

Irina V. Lukyanchuk, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, I. V. Michurin Federal Science Center, irina.lk2011@yandex.ru