

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'-CAGGCGCCAACGGCGTGCTCTTGT-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).

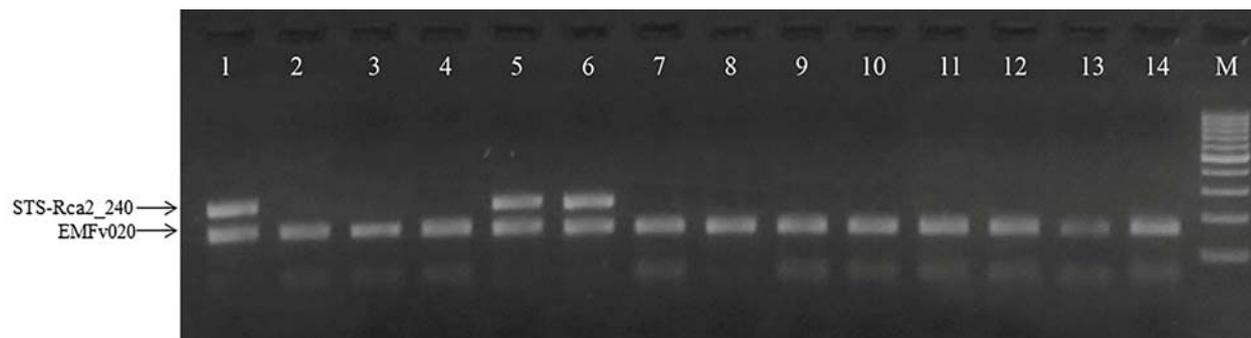
Аmplification проводили в термоциклере T100 (BIO-RAD, США) по

следующей программе: начальная денатурация при 95 °C – 3 мин.; 35 циклов: 95 °C – 50 с, 65 °C – 50 с, 72 °C – 1 мин; финальная элонгация при 72 °C – 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 × nanassa*). *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. Lukuanchuk, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, I. V. Michurin Federal Science Center, irina.lk2011@yandex.ru