

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Научная статья
УДК 634.75:577.2:632.4
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-208-213



Анализ наследования маркера SCAR-R1A, сцепленного с геном *Rpf1* устойчивости к фитофторозной корневой гнили, в гибридном потомстве земляники

А. С. Лыжин, И. В. Лукьянчук

Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, Мичуринск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Сергеевич Лыжин, Ranenburzhetc@yandex.ru

Актуальность. Устойчивость к патогенам – важный селекционный признак сорта. Опасным заболеванием земляники является фитофторозная корневая гниль (*Phytophthora fragariae* var. *fragariae* Hickman). Выявление закономерностей наследования генетических детерминант устойчивости и идентификация перспективных генотипов является важным этапом селекционной работы по созданию устойчивых к фитофторозу сортов. Цель исследования – выявление закономерностей наследования маркера SCAR-R1A, сцепленного с геном *Rpf1* устойчивости к фитофторозной корневой гнили, в гибридном потомстве земляники.

Материалы и методы. Объектами исследования служили сорта земляники 'Былинная', 'Олимпийская надежда', 'Привлекательная', 'Фейерверк', а также гибридные сеянцы комбинаций скрещивания Былинная × Олимпийская надежда, Былинная × Фейерверк, Олимпийская надежда × Былинная, Привлекательная × Былинная, Фейерверк × Былинная. Для идентификации гена *Rpf1* использовали доминантный маркер SCAR-R1A.

Результаты и выводы. В гибридной комбинации Былинная × Олимпийская надежда количество сеянцев с предполагаемым аллелем резистентности *Rpf1* (маркер SCAR-R1A присутствует) составило 33,3% от общего количества форм, в комбинации Былинная × Фейерверк – 37,2%, комбинации Олимпийская надежда × Былинная – 39,4%, комбинации Привлекательная × Былинная – 39,6%, комбинации Фейерверк × Былинная – 36,2%. Среднее количество сеянцев с аллелем *Rpf1* по изучаемым комбинациям скрещивания составило 37,1%. Оценка соответствия фактического расщепления теоретическому по критерию χ^2 подтвердила моногенный характер наследования изучаемого признака и соотношение частот наследования маркерных фрагментов гена *Rpf1* как 1 : 1, следовательно все идентифицированные сеянцы с предполагаемым аллелем *Rpf1* характеризуются гетерозиготным генотипом (*Rpf1rpf1*). Выявлены перспективные для вовлечения в селекционный процесс гибридные сеянцы земляники: 62-41 (Былинная × Фейерверк), 65-17, 65-24 (Олимпийская надежда × Былинная), 69-29 (Фейерверк × Былинная).

Ключевые слова: молекулярные маркеры, маркер-опосредованная селекция, генотип, гены устойчивости

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания согласно тематическому плану ФНЦ имени И.В. Мичурина по проекту № 0646-2019-0001 «Провести мобилизацию новых генотипов из других регионов произрастания, комплексную оценку генофонда плодовых, ягодных, нетрадиционных, цветочных культур по важнейшим селекционно-значимым признакам и геномный анализ гибридных сеянцев при интрогрессивной гибридизации с целью выделения перспективных генотипов для дальнейшего селекционного использования».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Анализ наследования маркера SCAR-R1A, сцепленного с геном *Rpf1* устойчивости к фитофторозной корневой гнили, в гибридном потомстве земляники. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022; 183(1):208-213. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-208-213

BRIEF REPORTS

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-208-213

Analysis of the inheritance of the marker SCAR-R1A, linked to the *Rpf1* red stele root rot resistance gene, in strawberry hybrid progeny

Alexander S. Lyzhin, Irina V. Luk'yanchuk

I.V. Michurin Federal Science Center, Michurinsk, Russia

Corresponding author: Alexander S. Lyzhin, Ranenburzhetc@yandex.ru

Background. Resistance to pathogens is an important breeding trait of a cultivar. Red stele root rot (*Phytophthora fragariae* var. *fragariae* Hickman) is a dangerous root disease. Revealing the patterns of resistance inheritance and identifying promising genotypes is an important stage in the development of strawberry cultivars resistant to red stele root rot. The purpose of the study was to identify patterns of inheritance for the SCAR-R1A marker, linked to the *Rpf1* red stele root rot resistance gene, in the strawberry hybrid combinations.

Materials and methods. The target materials were the strawberry cultivars 'Bylinnaya', 'Olimpiyskaya Nadezhda', 'Privlekatelnaya' and 'Feyerverk', and hybrid seedlings of the cross combinations Bylinnaya × Olimpiyskaya Nadezhda, Bylinnaya × Feyerverk, Olimpiyskaya Nadezhda × Bylinnaya, Privlekatelnaya × Bylinnaya, and Feyerverk × Bylinnaya. The *Rpf1* gene was identified with the marker SCAR-R1A.

Results and conclusion. For the hybrid combination Bylinnaya × Olimpiyskaya Nadezhda, the percentage of seedlings with an *Rpf1* resistance allele was 33.3%. For the combination Bylinnaya × Feyerverk, their percentage was 37.2%; for Olimpiyskaya Nadezhda × Bylinnaya, 39.4%; for Privlekatelnaya × Bylinnaya, 39.6%; and for Feyerverk × Bylinnaya, 36.2%. The average percentage of seedlings with an *Rpf1* allele for the studied combinations was 37.1%. Assessment of the compliance between the observed segregation and theoretical one according to the χ^2 criterion confirmed the monogenic character of the studied trait and the Mendelian ratio of inheritance frequencies for the marker fragments of the *Rpf1* gene as 1 : 1. Therefore, all identified seedlings with an *Rpf1* allele are characterized by a heterozygous genotype. Strawberry hybrids promising for breeding were identified: 62-41 (Bylinnaya × Feyerverk), 65-17, 65-24 (Olimpiyskaya Nadezhda × Bylinnaya), and 69-29 (Feyerverk × Bylinnaya).

Keywords: molecular markers, marker-assisted selection, genotype, resistance genes

Acknowledgments: the research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of the I.V. Michurin FSC, Project No. 0646-2019-0001 "To conduct mobilization of new genotypes from other growing regions, complex assessment of the gene pools of fruit, berry, non-traditional and flower crops for the most important traits of breeding value, and genomic analysis of hybrid seedlings during introgressive hybridization in order to identify promising genotypes for further breeding".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V. Analysis of the inheritance of the marker SCAR-R1A, linked to the *Rpf1* red stele root rot resistance gene, in strawberry hybrid progeny. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(1):208-213. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-208-213

Введение

Устойчивость к грибным патогенам – одна из важнейших характеристик любого сорта растений. Земляника садовая (*Fragaria × ananassa* Duch.) восприимчива ко многим заболеваниям, поражающим все органы растений: листья, корни, цветки, плоды. Одними из наиболее опасных заболеваний растений земляники являются заболевания корневой системы. К их числу относится фитотфорозная корневая гниль, возбудителем которой является облигатный фитопатоген из отдела *Oomycota* – *Phytophthora fragariae* var. *fragariae* Hickman (Adams et al., 2020; Xiao et al., 2021). Согласно перечню Европейско-средиземноморской организации по защите растений (ЕРРО) *P. fragariae* var. *fragariae* относится к карантинным патогенам класса A2 (Hughes et al., 2000).

У пораженных фитотфорозом растений земляники происходит отмирание придаточных корней, более крупные (проводящие) корни оголяются, иссушаясь книзу («крысиный хвост»). Центральный цилиндр таких корней на продольном срезе имеет красный цвет, что является характерным диагностическим признаком заражения земляники *P. fragariae* var. *fragariae*. В пораженных тканях корня образуются ооспоры патогена. Наблюдается угнетение ростовых процессов и увядание растений (Sasnauskas et al., 2007; Newton et al., 2010).

Устойчивость к фитотфорозной корневой гнили у сортов и гибридов земляники обусловлена наличием в геноме генов расспецифической устойчивости, комплементарных генам авирулентности патогена (Van de Weg, 1997). В настоящее время считается, что у земляники существует не менее 11 генов устойчивости к *P. fragariae* var. *fragariae* (Adams et al., 2020), из которых наибольший вклад в формирование устойчивости вносят три гена: *Rpf1*, *Rpf2* и *Rpf3* (Whitaker, 2011).

Идентификация генетических детерминант устойчивости земляники к *P. fragariae* var. *fragariae* позволяет вести целенаправленный скрининг перспективных генотипов с использованием диагностических ДНК-маркеров. ДНК-маркеры позволяют не только с высокой эффективностью и надежностью идентифицировать локусы хозяйственно ценных признаков у исходных родительских форм, но и предсказать их наследование в гибридном потомстве (Rugienius et al., 2006; Oh et al., 2019). Для идентификации гена *Rpf1* устойчивости земляники к фитотфорозному увяданию в рамках маркер-опосредованной селекции растений наиболее широко используется маркер SCAR-R1A, который был разработан на основании анализа полиморфизма нуклеотидных последовательностей ампликонов RAPD-маркера OPO-16C у устойчивых (форма Md683) и восприимчивых (сорт 'Senga Sengana') к фитотфорозному увяданию генотипов земляники. Маркер SCAR-R1A локализован на расстоянии 3,0 см от гена *Rpf1* и характеризуется доминантным типом наследования. На электрофореграмме маркер SCAR-R1A представлен фрагментом размером 285 пн. У генотипов с рецессивным гомозиготным состоянием гена *Rpf1* (*rpf1rpf1*) данный продукт не амплифицируется (Haumes et al., 2000).

Целью исследования являлся молекулярно-генетический анализ гибридных комбинаций земляники по гену *Rpf1* устойчивости к фитотфорозной корневой гнили для выявления закономерностей наследования и идентификации перспективных генотипов.

Материалы и методы

Исследования проведены в 2020–2021 гг. В качестве биологических объектов использованы исходные родительские формы земляники 'Былинная', 'Олимпийская надежда', 'Привлекательная', 'Фейерверк', а также гибридные сеянцы комбинаций скрещивания Былинная × Олимпийская надежда, Былинная × Фейерверк, Олимпийская надежда × Былинная, Привлекательная × Былинная, Фейерверк × Былинная общим количеством 183 генотипа. Скрещивание проводили методом искусственного опыления предварительно кастрированных цветков материнских растений пыльцой отцовских форм.

Экстракция тотальной ДНК генотипов земляники осуществлялась с использованием модифицированного СТАВ-метода (Luk'yanchuk et al., 2018).

Для идентификации в гибридном потомстве земляники сеянцев с геном *Rpf1* устойчивости к фитотфорозной корневой гнили использовали диагностический ДНК-маркер SCAR-R1A (For 5'-TGCATCATTAATGTAGAAGTCTTT-3, Rev 5'-TGATCGACATACAAAAATATTAG-3) (Haumes et al., 2000).

Реакционная смесь общим объемом 15 мкл содержала 1,5 мМ Таq-буфера, 2,0 мМ смеси дезоксинуклеозидтрифосфатов, 2,5 мМ хлорида магния, 0,2 U Таq-полимеразы, 0,2 мкМ каждого праймера и 20 нг геномной ДНК. Все компоненты произведены фирмой Thermo Fisher Scientific (США).

Полимеразную цепную реакцию проводили в амплификаторе T100 (Bio-Rad, США) по следующей программе: начальная денатурация – 3 мин при 94°C, далее 25 циклов: 30 с при 94°C, 45 с при 60°C, 60 с при 72°C; далее финальная элонгация – 7 мин при 72°C.

Разделение продуктов амплификации проводили электрофоретическим методом в 2-процентном агарозном геле (буферная система – 1 × TBE). Определение размера ампликонов проводили с использованием Gene Ruler 100 bp DNA Ladder (Thermo Fisher Scientific, США).

Результаты и обсуждение

В анализируемых комбинациях скрещивания донора аллеля резистентности гена *Rpf1* является сорт 'Былинная', который, согласно проведенным ранее исследованиям, характеризуется гетерозиготным генотипом (*Rpf1rpf1*). Сорта 'Олимпийская надежда', 'Привлекательная' и 'Фейерверк' имеют рецессивный гомозиготный генотип по гену *Rpf1* (*rpf1rpf1*) (Lyzhin, Luk'yanchuk, 2020). В связи с этим гибридные комбинации Былинная × Олимпийская надежда, Былинная × Фейерверк, Олимпийская надежда × Былинная, Привлекательная × Былинная, Фейерверк × Былинная соответствуют анализируемому типу скрещивания (Aa × aa) и теоретический выход сеянцев с аллелем резистентности *Rpf1* в генотипе должен составлять около 50%.

Результаты молекулярного скрининга показали, что в комбинации скрещивания Былинная × Олимпийская надежда количество сеянцев с маркером SCAR-R1A (сцеплен с аллелем резистентности *Rpf1*) составило 33,3% от общего количества форм, в комбинации Былинная × Фейерверк – 37,2%, комбинации Олимпийская надежда × Былинная – 39,4%, комбинации Привлекательная × Былинная – 39,6%, комбинации Фейерверк × Былинная – 36,2%. Пример идентификации приведен на рисунках 1, 2, результаты – в таблице.

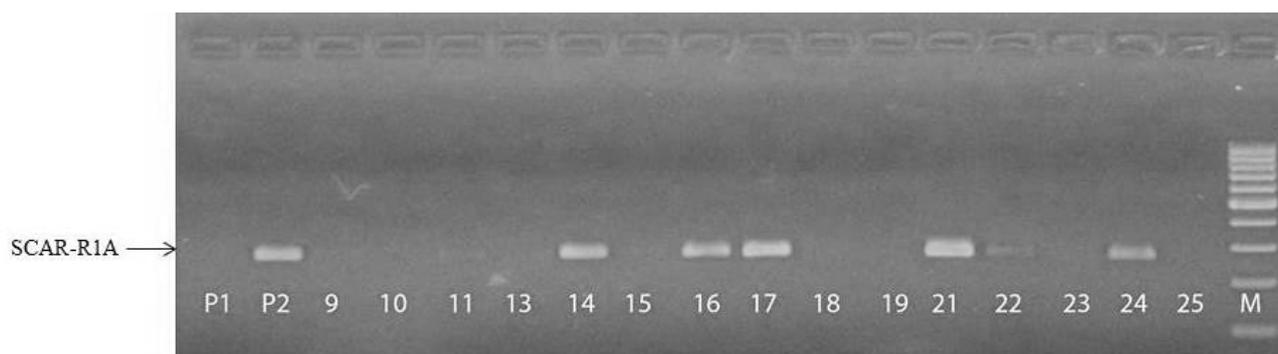


Рис. 1. Электрофоретический профиль маркера SCAR-R1A гибридных сеянцев земляники (комбинация скрещивания Олимпийская надежда × Былинная): P1 – 'Олимпийская надежда', P2 – 'Былинная', 9–25 – гибридные сеянцы; M – маркер молекулярного веса ДНК

Fig. 1. Electrophoretic profile of the SCAR-R1A marker of strawberry hybrid seedlings (cross combination Olimpiyskaya Nadezhda × Bylinnaya): P1 – 'Olimpiyskaya Nadezhda', P2 – 'Bylinnaya', 9–25 – hybrid seedlings; M – DNA molecular weight marker



Рис. 2. Электрофоретический профиль маркера SCAR-R1A гибридных сеянцев земляники (комбинация скрещивания Былинная × Фейерверк): P1 – 'Былинная', P2 – 'Фейерверк', 1–13 – гибридные сеянцы; M – маркер молекулярного веса

Fig. 2. Electrophoretic profile of the SCAR-R1A marker of strawberry hybrid seedlings (cross combination Bylinnaya × Feyuerverk): P1 – 'Bylinnaya', P2 – 'Feyuerverk', 1–13 – hybrid seedlings; M – molecular weight marker

Таблица. Результаты анализа наследования маркерных фрагментов гена *Rpf1* в гибридных комбинациях земляники

Table. Results of the analysis of inheritance of marker fragments of the *Rpf1* gene in hybrid combinations of strawberry

Комбинация скрещивания / Cross combination	Количество сеянцев / Number of seedlings					χ^2 1 : 1
	Всего / Total	Предполагаемый генотип <i>Rpf1rpf1</i> / Putative genotype <i>Rpf1rpf1</i>		Предполагаемый генотип <i>rpf1rpf1</i> / Putative genotype <i>rpf1rpf1</i>		
		шт. / рс.	шт. / рс.	%	шт. / рс.	
Былинная × Фейерверк	43	16	37,2	27	62,8	2,813
Олимпийская надежда × Былинная	33	13	39,4	20	60,6	1,484
Привлекательная × Былинная	48	19	39,6	29	60,4	2,083
Фейерверк × Былинная	47	17	36,2	30	63,8	3,596

Наибольшее количество гибридных семян с предполагаемым геном *Rpf1* идентифицировано в комбинации скрещивания Привлекательная × Былинная (39,6%), наименьшее – в комбинации скрещивания Былинная × Олимпийская надежда (33,3%). Среднее количество семян с идентифицированным маркерным фрагментом аллеля резистентности *Rpf1* в геноме по изучаемым комбинациям скрещивания составило 37,1%. При этом необходимо отметить, что максимальное отклонение от среднего в большую сторону составило 6,7%, в меньшую – 10,3%, что свидетельствует о стабильности наследования данного признака.

Оценка соответствия фактического расщепления теоретическому по критерию χ^2 подтвердила моногенный характер наследования маркерных фрагментов гена *Rpf1* и соотношение частот встречаемости аллелей маркера SCAR-R1A как 1 : 1 при уровне значимости 0,05. Так как комбинация скрещивания Былинная × Олимпийская надежда представлена 12 генотипами, то расчетное значение критерия χ^2 (1,332) является приблизительным вследствие малого количества гибридных семян.

Полученные результаты подтверждают данные молекулярно-генетического анализа о предполагаемом гетерозиготном состоянии гена *Rpf1* у сорта 'Былинная' и рецессивном гомозиготном – у сортов 'Олимпийская надежда', 'Привлекательная' и 'Фейерверк'.

Использование сорта 'Былинная' (донор аллеля *Rpf1*) в качестве материнской или отцовской формы существенно влияло на выход семян с геном *Rpf1* не оказало. При использовании сорта 'Былинная' в качестве материнской формы среднее количество семян с маркером SCAR-R1A, сцепленным с геном *Rpf1*, составило 35,2%; при использовании сорта 'Былинная' в качестве опылителя – 38,4%.

Среди идентифицированных семян с предполагаемым аллелем резистентности *Rpf1* наибольший интерес представляют формы, дополнительно характеризующиеся комплексом других хозяйственно ценных признаков. К числу таких форм относятся отборные семена 62-41 (Былинная × Фейерверк), 65-17, 65-24 (Олимпийская надежда × Былинная), 69-29 (Фейерверк × Былинная), обладающие высоким уровнем адаптации к биотическим (неблагоприятные факторы осенне-зимнего периода, высокие температуры и недостаток влаги в период вегетации) и биотическим стрессорам (мучнистая роса, белая и бурая пятнистости листьев), высокой продуктивностью, ценными товарно-потребительскими качествами и улучшенным биохимическим составом плодов (Lyzhin, Luk'yanchuk, 2020, 2021).

Так как расщепление в изучаемых гибридных комбинациях соответствовало математической модели 1 : 1, то можно предположить, что все идентифицированные семена с аллелем резистентности *Rpf1* имеют гетерозиготный генотип (*Rpf1Rpf1*). При этом актуальной задачей является получение форм земляники с доминантным гомозиготным генотипом (*Rpf1Rpf1*), что позволит при использовании их в гибридизации получить до 100% устойчивых семян. Как отмечает Isabelle O. Baumgartner et al. (2015), использование в скрещивании гомозиготных форм теоретически позволит избежать необходимости проведения фенотипического или генотипического анализа гибридного потомства по селективируемому признаку, тем самым сократив время анализа, трудовые и финансовые затраты. Для получения форм земляники с доминантным гомозиготным генотипом будут проведены гибридизация гетерозиготных по гену *Rpf1* геноти-

пов и последующий скрининг гибридного потомства с помощью маркера SCAR-R1A.

Заключение

Таким образом, проанализировано наследование в гибридном потомстве земляники садовой гена *Rpf1* устойчивости к фитофторозной корневой гнили. В среднем по изучаемым комбинациям скрещивания количество семян с аллелем резистентности *Rpf1* в геноме составило 37,1%. Максимальное количество выявлено в комбинации скрещивания Привлекательная × Былинная (39,6%), минимальное – в комбинации скрещивания Былинная × Олимпийская надежда (33,3%).

Идентифицированы перспективные для вовлечения в селекционный процесс гибридные формы земляники, характеризующиеся сочетанием генетически детерминированной устойчивости к фитофторозной корневой гнили (генотип *Rpf1Rpf1*) с комплексом других хозяйственно ценных признаков: 62-41 (Былинная × Фейерверк), 65-17, 65-24 (Олимпийская надежда × Былинная), 69-29 (Фейерверк × Былинная).

References / Литература

- Adams T.M., Armitage A.D., Sobczyk M.K., Bates H.J., Tabima J.F., Kronmiller B.A. et al. Genomic investigation of the strawberry pathogen *Phytophthora fragariae* indicates pathogenicity is associated with transcriptional variation in three key races. *Frontiers in Microbiology*. 2020;11:490. DOI: 10.3389/fmicb.2020.00490
- Baumgartner I.O., Patocchi A., Frey J.E., Peil A., Kellerhals M. Breeding elite lines of apple carrying pyramided homozygous resistance genes against apple scab and resistance against powdery mildew and fire blight. *Plant Molecular Biology Reporter*. 2015;33:1573-1583. DOI: 10.1007/s11105-015-0858-x
- Haymes K.M., Van de Weg W.E., Arens P., Maas J.L., Vosman B., Den Nijs A.P.M. Development of SCAR markers linked to a *Phytophthora fragariae* resistance gene and their assessment in European and North American strawberry genotypes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 2000;125(3):330-339. DOI: 10.21273/JASHS.125.3.330
- Hughes K.J.D., Inman A.J., Cooke D.E.L. Comparative testing of nested PCR-based methods with bait-plant tests for detecting *Phytophthora fragariae* var. *fragariae* in infected strawberry roots from fruit crops in the UK. *EPP0 Bulletin*. 2000;30(3-4):533-538. DOI: 10.1111/j.1365-2338.2000.tb00942.x
- Luk'yanchuk I.V., Lyzhin A.S., Kozlova I.I. Analysis of strawberry genetic collection (*Fragaria* L.) for *Rca2* and *Rpf1* genes with molecular markers. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(7):795-799. DOI: 10.18699/VJ18.423
- Lyzhin A., Luk'yanchuk I. Analysis of polymorphism of strawberry genotypes (*Fragaria* L.) according to the strawberry red root spot resistance gene *Rpf1* for identification of strawberry forms promising for breeding and horticulture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2020;58(3):311-320. [in Russian] (Лыжин А.С., Лукьянчук И.В. Анализ полиморфизма генотипов земляники (*Fragaria* L.) по гену устойчивости к фитофторозной корневой гнили *Rpf1* для идентификации перспективных для селекции и садоводства форм. *Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук*. 2020;58(3):311-320.) DOI: 10.29235/1817-7204-2020-58-3-311-320

- Lyzhin A., Luk'yanchuk I. Marker-assisted screening of promising forms in the strawberry breeding. *E3S Web of Conferences*. 2021;254:03002. DOI: 10.1051/e3sconf/202125403002
- Newton A.C., Duncan J.M., Augustin N.H., Guy D.C., Cooke D.E.L. Survival, distribution and genetic variability of inoculum of the strawberry red core pathogen, *Phytophthora fragariae* var. *fragariae*, in soil. *Plant Pathology*. 2010;59(3):472-479. DOI: 10.1111/j.1365-3059.2010.02273.x
- Oh Y., Zurn J.D., Bassil N., Edger P.P., Knapp S.J., Whitaker V.M. et al. The strawberry DNA testing handbook. *American Society for Horticultural Science*. 2019;54(12):2267-2270. DOI: 10.21273/HORTSCI14387-19
- Rugienius R., Siksnianas T., Stanys V., Gelvonauskienė D., Bendokas V. Use of RAPD and SCAR markers for identification of strawberry genotypes carrying red stele (*Phytophthora fragariae*) resistance gene *Rpfl*. *Agronomy Research*. 2006;4:335-339
- Sasnauskas A., Rugienius R., Gelvonauskienė D., Zalunskaitė I., Stanienė G., Siksnianas T. et al. Screening of strawberries with the red stele (*Phytophthora fragariae*) resistance gene *Rpfl* using sequence specific DNA markers. *Acta Horticulturae*. 2007;760:165-169. DOI: 10.17660/ActaHortic.2007.760.21
- Van de Weg W.E. A gene-for-gene model to explain interactions between cultivars of strawberry and races of *Phytophthora fragariae* var. *fragariae*. *Theoretical and Applied Genetics*. 1997;94(3-4):445-451. DOI: 10.1007/s001220050435
- Whitaker V.M. Applications of molecular markers in strawberry. *Journal of Berry Research*. 2011;1(3):115-127. DOI: 10.3233/BR-2011-013
- Xiao J.R., Chung P.C., Wu H.Y., Phan Q.H., Yeh J.L.A., Hou M.T.K. Detection of strawberry diseases using a convolutional neural network. *Plants*. 2021;10(1):31. DOI: 10.3390/plants10010031

Информация об авторах

Александр Сергеевич Лыжин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, 393760 Россия, Тамбовская обл., Мичуринск, ул. Мичурина, 30, Ranenburzhetc@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9770-8731>

Ирина Васильевна Лукьянчук, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, 393760 Россия, Тамбовская обл., Мичуринск, ул. Мичурина, 30, irina.lk2011@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1626-840X>

Information about the authors

Alexander S. Lyzhin, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, I.V. Michurin Federal Science Center, 30 Michurina St., Michurinsk, Tambov Province 393760, Russia, Ranenburzhetc@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9770-8731>

Irina V. Luk'yanchuk, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, I.V. Michurin Federal Science Center, 30 Michurina St., Michurinsk, Tambov Province 393760, Russia, irina.lk2011@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1626-840X>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 10.09.2021; одобрена после рецензирования 24.01.2022; принята к публикации 28.02.2022.

The article was submitted on 10.09.2021; approved after reviewing on 24.01.2022; accepted for publication on 28.02.2022.