

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/letvjgb-2024-10-12

Оригинальное исследование

Молекулярный скрининг аллелей резистентности *O8 To-f*, *Rca2* и *Rpf1* в гибридном потомстве земляники садовой для идентификации форм с комплексной устойчивостью к грибным патогенам

А.С. Лыжин , И.В. Лукьянчук 

Аннотация: Устойчивость к грибным патогенам – одно из важнейших направлений селекции земляники садовой (*Fragaria xananassa* Duch.). Генетически детерминированная устойчивость позволит минимизировать использование химических средств защиты и повысит качество получаемой продукции. В настоящем исследовании представлены результаты молекулярного скрининга гибридных сеянцев земляники садовой по локусам резистентности к мучнистой росе (*O8 To-f*), антракнозу (*Rca2*) и фитофторозу (*Rpf1*) для идентификации форм с комплексной устойчивостью к этим патогенам. В анализируемых комбинациях скрещивания количество сеянцев, совмещающих в генотипе локусы устойчивости *O8 To-f* и *Rpf1*, варьировало от 9.3 % (Былинная × Фейерверк) до 30.3 % (Олимпийская надежда × Былинная) при среднем по комбинациям значении 17.2 %. В комбинации скрещивания Былинная × Олимпийская надежда генотип *O8 To-f+Rpf1* имеют сеянцы 61-5 и 61-6; в комбинации Былинная × Фейерверк – сеянцы 62-6, 62-33, 62-34, 62-41; в комбинации Олимпийская надежда × Былинная – гибриды 65-1, 65-8, 65-11, 65-14, 65-16, 65-17, 65-21, 65-22, 65-30, 65-35; в комбинации Привлекательная × Былинная – формы 72-17, 72-27, 72-35, 72-59, 72-88; в комбинации Фейерверк × Былинная – сеянцы 69-5, 69-6, 69-7, 69-8, 69-11, 69-35, 69-36, 69-40, 69-47. Количество сеянцев с генотипом *O8 To-f+Rca2* составило 18.7 % в комбинации Malwina × Tea (гибриды 3/4-2, 3/4-8, 3/4-17, 3/4-23, 3/4-24, 3/4-31) и 27.5 % в комбинации Florence × Faith (гибриды 3/9-3, 3/9-6, 3/9-11, 3/9-22, 3/9-24, 3/9-25, 3/9-28, 3/9-30, 3/9-33, 3/9-34, 3/9-40). Среднее количество гибридов с генотипом *O8 To-f+Rca2* по комбинациям составило 23.1 %. Указанные сеянцы являются перспективными генетическими источниками комплексной устойчивости к мучнистой росе и фитофторозу, мучнистой росе и антракнозу.

Ключевые слова: *Fragaria xananassa* Duch.; устойчивость; мучнистая роса; антракноз; фитофтороз; молекулярные маркеры.

Для цитирования: Лыжин А.С., Лукьянчук И.В. Молекулярный скрининг аллелей резистентности *O8 To-f*, *Rca2* и *Rpf1* в гибридном потомстве земляники садовой для идентификации форм с комплексной устойчивостью к грибным патогенам. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2024;10(2):105-110. DOI 10.18699/letvjgb-2024-10-12

Original article

Molecular screening of resistance alleles *O8 To-f*, *Rca2* and *Rpf1* in strawberry hybrid progeny for identify forms with complex resistance to fungal pathogens

A.S. Lyzhin , I.V. Luk'yanchuk 

Abstract: Resistance to fungal pathogens is one of the most important directions of breeding for strawberry (*Fragaria xananassa* Duch.). Genetically determined resistance will minimize the use of chemical means of protection and increase the quality of the products. This study presents the results of molecular screening of strawberry hybrid seedlings for resistance loci to powdery mildew (*O8 To-f*), anthracnose (*Rca2*) and red stele root rot (*Rpf1*) to identify forms with complex resistance to pathogens. In the analyzed strawberry crossing combinations, the number of seedlings combining the resistance loci *O8 To-f* and *Rpf1* varied from 9.3 % (Bylinnaya × Feyyerverk) to 30.3 % (Olimpiyskaya nadezhda × Bylinnaya) with an average number for combinations of 17.2 %. In the cross combination Bylinnaya × Olimpiyskaya nadezhda, genotype *O8 To-f+Rpf1* has seedlings 61-5 and 61-6; in the combination Bylinnaya × Feyyerverk – seedlings 62-6, 62-33, 62-34 and 62-41; in the combination Olimpiyskaya nadezhda × Bylinnaya – hybrids 65-1, 65-8, 65-11, 65-14, 65-16, 65-17, 65-21, 65-22, 65-30 and 65-35; in the combination Privlekatelnaya × Bylinnaya – forms 72-17, 72-27, 72-35, 72-59 and 72-88; in the combination Feyyerverk × Bylinnaya – seedlings 69-5, 69-6, 69-7, 69-8, 69-11, 69-35, 69-36, 69-40 and 69-47. The number of strawberry seedlings with genotype *O8 To-f+Rca2* was 18.7 % in the combination Malwina × Tea (hybrids 3/4-2, 3/4-8, 3/4-17, 3/4-23,

Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, Мичуринск, Тамбовская область, Россия
I.V. Michurin Federal Scientific Center, Michurinsk, Tambov region, Russia

 Ranenburzhetc@yandex.ru

 Лыжин А.С., Лукьянчук И.В., 2024

3/4-24 and 3/4-31) and 27.5 % in the combination Florence × Faith (hybrids 3/9-3, 3/9-6, 3/9-11, 3/9-22, 3/9-24, 3/9-25, 3/9-28, 3/9-30, 3/9-33, 3/9-34 and 3/9-40). The average number of strawberry hybrids with genotype *08 To-f+Rca2* for the studied combinations was 23.1 %. These strawberry seedlings are promising genetic sources of complex resistance to powdery mildew and red stele root rot, powdery mildew and anthracnose.

Key words: *Fragaria xananassa* Duch.; resistance; powdery mildew; anthracnose; red stele root rot; molecular markers.

For citation: Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V. Molecular screening of resistance alleles *08 To-f*, *Rca2* and *Rpf1* in strawberry hybrid progeny for identify forms with complex resistance to fungal pathogens. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2024;10(2):105-110. DOI 10.18699/letvjgb-2024-10-12 (in Russian)

Введение

Современные сорта земляники садовой (*Fragaria xananassa* Duch.) наряду с высокой урожайностью и товарно-потребительскими качествами плодов должны характеризоваться высоким уровнем устойчивости к болезням (Марченко, 2020; Whitaker et al., 2020). Генетически детерминированная устойчивость сорта к патогенам (максимально возможному их числу) позволит минимизировать использование химических средств защиты растений, снизит затраты и повысит качество получаемой продукции (Жученко, 2009; Gorgitano, Pirilli, 2016). Поэтому устойчивость к болезням – одно из важнейших направлений селекции сельскохозяйственных культур, в том числе земляники садовой (Whitaker, 2011; Khan et al., 2020; Марченко, 2021).

Направленная селекция земляники ведется на устойчивость к мучнистой росе (*Sphaerotheca macularis* Mag.) (Айтжанова, Орехова, 2009; Лыжин, Лукьянчук, 2023а), пятнистостям листьев (*Ramularia tulasnei* Sacc., *Marssonina potentillae* (Desm.) P. Magn. f. *fragariae* (Lib.) Ohl.) (Лукьянчук, 2013; Андропова, 2019), антракнозу (*Colletotrichum acutatum* J.H. Simmonds) (Камедько, Пугачев, 2018; Лыжин, Лукьянчук, 2023б), фитофторозу (*Phytophthora fragariae* var. *fragariae* Hickman) (Лыжин, Лукьянчук, 2020; Lyzhin, Luk'yanchuk, 2021). При этом наиболее ценными считаются генотипы, характеризующиеся устойчивостью к комплексу патогенных организмов (Говорова и др., 2008). Повысить эффективность процесса создания и выявления форм земляники с комплексной устойчивостью к патогенам позволяют методы ПЦР-диагностики и ДНК-маркирования, на молекулярном уровне обеспечивающие определение наследственных основ формирования признаков.

В настоящем исследовании представлены результаты молекулярного скрининга гибридных семян земляники по локусам резистентности к мучнистой росе (*08 To-f*), антракнозу (*Rca2*) и фитофторозу (*Rpf1*) для идентификации форм с комплексной устойчивостью к патогенам.

Материалы и методы

Исследования проведены в 2017–2024 гг. Биологическими объектами исследований являлись гибридные семена земляники садовой семи комбинаций скрещивания: Былинная × Олимпийская надежда, Былинная × Фейерверк, Олимпийская надежда × Былинная, Привлекательная × Былинная, Фейерверк × Былинная, Malwina × Tea, Florence × Faith. Общее количество 255 генотипов. В качестве положительного контроля – носителей локусов резистентности – использовались сорт Elianny (ген *Rca2*), дикорастущие виды *F. virginiana* subsp. *platypetala* (Rydb.) Staudt (ген *Rpf1*) и *F. orientalis* Los. (QTL *08 To-f*). Исходные родительские и контрольные

формы выделены из генетической коллекции земляники «ФНЦ им. И.В. Мичурина», их характеристика приведена в табл. 1.

Для выявления устойчивых к патогенам генотипов земляники использовали доминантные диагностические ДНК-маркеры, сцепленные с целевыми аллелями локусов устойчивости к патогенам:

- IB535110 – устойчивость к мучнистой росе (QTL *08 To-f*). Локусу резистентности соответствует ампликон размером 500 п. н. (Koishihara et al., 2020);
- SCAR-R1A – устойчивость к фитофторозу (ген *Rpf1*). Аллелю резистентности соответствует ампликон размером 285 п. н. (Haymes et al., 2000);
- STS-Rca2_240 – устойчивость к антракнозу (ген *Rca2*). Аллелю резистентности соответствует ампликон размером 240 п. н. (Lerceteau-Kohler et al., 2005).

Полимеразную цепную реакцию проводили в термоциклере T100 (Bio-Rad, США) с использованием описанных ранее набора реактивов, праймеров и программ амплификации (Лыжин и др., 2019; Лыжин, Лукьянчук, 2020, 2023а). Разделение продуктов амплификации осуществляли методом электрофореза в 2 % агарозном геле. В качестве маркера молекулярного веса использовали ДНК-маркер Step100 («Биолабмикс», Россия).

Фенотипическую оценку устойчивости земляники к антракнозной и фитофторозной гнилям не проводили вследствие отсутствия на экспериментальных участках насаждений очагов инфекции. Однако валидация диагностических маркеров STS-Rca2_240 и SCAR-R1A с использованием геноплазмы отечественных сортов земляники выполнялась другими авторами (Njuguna, 2010; Пикунова, 2011; Храбров и др., 2021), в связи с чем можно говорить о наличии устойчивости у форм с идентифицированными маркерными фрагментами. Валидация маркера IB535110 была проведена нами ранее (Лыжин, Лукьянчук, 2024): установлено, что все генотипы земляники с идентифицированным локусом *08 To-f* характеризуются отсутствием признаков поражения мучнистой росой. В частности, устойчивостью к *S. macularis* обладают дикорастущий вид *F. orientalis* и сорта земляники садовой Былинная, Faith, Florence и Malwina.

Полученные экспериментальные данные обрабатывались методами математической статистики с использованием компьютерной программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Современные сорта земляники садовой должны характеризоваться комплексной устойчивостью к наиболее распространенным заболеваниям (Говорова и др., 2008; Barbey

Таблица 1. Присутствие аллелей резистентности к грибным патогенам у исходных форм земляники
Table 1. Presence of resistance alleles to fungal pathogens in the strawberry initial forms

Генотип	QTL <i>08 To-f</i> (устойчивость к мучнистой росе)	Ген <i>Rpf1</i> (устойчивость к фитофторозу)	Ген <i>Rca2</i> (устойчивость к антракнозу)	Литературный источник
<i>F. orientalis</i> Los. (контроль)	1	0	0	
Привлекательная	0	0	0	Лукьянчук и др., 2018; Лыжин, Лукьянчук, 2024
Фейерверк				
<i>F. virginiana</i> subsp. <i>platypetala</i> (Rydb.) Staudt (контроль)	0	1	0	Лукьянчук и др., 2018; Лыжин, Лукьянчук, 2020, 2024
Elianny (контроль)	0	0	1	
Былинная	1	1	0	Лыжин и др., 2019; Лыжин, Лукьянчук, 2020, 2024
Олимпийская надежда	0	0	0	
Faith	1	0	0	
Florence	1	0	1	Лыжин, Лукьянчук, 2024; Keldibekova et al., 2024; Неопубл. данные
Malwina	1	0	1	
Tea	0	0	0	Неопубл. данные

et al., 2019), в связи с чем одной из важнейших задач селекционной работы является объединение в одном генотипе генетических факторов устойчивости к различным патогенам. Локусы *08 To-f* (устойчивость к мучнистой росе), *Rca2* (устойчивость к антракнозной черной гнили), *Rpf1* (устойчивость к фитофторозной корневой гнили) картированы на разных хромосомах (Haumes et al., 2000; Lerceteau-Kohler et al., 2005; Koishihara et al., 2020), поэтому нет препятствий для интрогрессии целевых аллелей в один генотип.

В анализируемых комбинациях скрещивания представлены комбинации двух из трех локусов устойчивости: *08 To-f+Rpf1* (Былинная × Олимпийская надежда, Олимпийская надежда × Былинная, Былинная × Фейерверк, Фейерверк × Былинная, Привлекательная × Былинная); *08 To-f+Rca2* (Malwina × Tea, Florence × Faith). Источниками аллелей резистентности служат исходные формы Былинная (*08 To-f+Rpf1*), Malwina (*08 To-f+Rca2*), Florence (*08 To-f+Rca2*) и Faith (*08 To-f*) (Лыжин, Лукьянчук, 2020, 2023а, б).

Соответственно, в гибридном потомстве выявлены два варианта комбинаций локусов устойчивости – *08 To-f+Rpf1* и *08 To-f+Rca2*. При этом необходимо отметить, что все гибриды с идентифицированными аллелями резистентности имеют гетерозиготный генотип. Теоретически гомозиготные по аллелю устойчивости *08 To-f* формы земляники могут присутствовать в комбинации скрещивания Florence × Faith, однако используемые для анализа маркеры не позволяют отличить гетерозиготные генотипы от гомозиготных.

Маркерные фрагменты анализируемых локусов у изучаемых гибридов четко визуализировались на электрофореграммах, размеры соответствовали таковым у контрольных форм. Примеры электрофоретических спектров показаны на рис. 1–3, результаты анализа представлены в табл. 2.

Количество семян с генотипом *08 To-f+Rpf1* варьировало от 9.3 % (Былинная × Фейерверк) до 30.3 % (Олимпийская надежда × Былинная) при среднем по комбинациям скрещивания значении 17.2 %. В комбинации скрещивания Былинная × Олимпийская надежда генотип *08 To-f+Rpf1* имеют семена 61-5, 61-6; в комбинации Былинная × Фейерверк – семена 62-6, 62-33, 62-34, 62-41; в комбинации Олимпийская надежда × Былинная – гибриды 65-1, 65-8, 65-11, 65-14, 65-16, 65-17, 65-21, 65-22, 65-30, 65-35; в комбинации Привлекательная × Былинная – формы 72-17, 72-27, 72-35, 72-59, 72-88; в комбинации Фейерверк × Былинная – семена 69-5, 69-6, 69-7, 69-8, 69-11, 69-35, 69-36, 69-40, 69-47.

При этом необходимо отметить значительную разницу в количестве гибридов с генотипом *08 To-f+Rpf1*: между отдельными комбинациями она достигала 3.3 раза, хотя источником аллелей резистентности во всех вариантах был один и тот же сорт Былинная. Существенная разница в количестве семян с двумя локусами устойчивости отмечена и между гибридными комбинациями в реципрокных скрещиваниях сортов Былинная и Олимпийская надежда, Былинная и Фейерверк: 1.8 и 2.1 раза соответственно. В обоих вариантах большее количество семян с генотипом *08 To-f+Rpf1* выявлено при использовании источника целевых локусов в качестве отцовской формы.

Количество семян с генотипом *08 To-f+Rca2* составило 18.7 % в комбинации Malwina × Tea и 27.5 % в комбинации Florence × Faith. Среднее значение по комбинациям – 23.1 %. В гибридной семье Malwina × Tea комбинацию локусов *08 To-f* и *Rca2* имеют семена 3/4-2, 3/4-8, 3/4-17, 3/4-23, 3/4-24, 3/4-31; в комбинации Florence × Faith – гибриды 3/9-3, 3/9-6, 3/9-11, 3/9-22, 3/9-24, 3/9-25, 3/9-28, 3/9-30, 3/9-33, 3/9-34, 3/9-40. Большее количество гибридов с двумя локусами

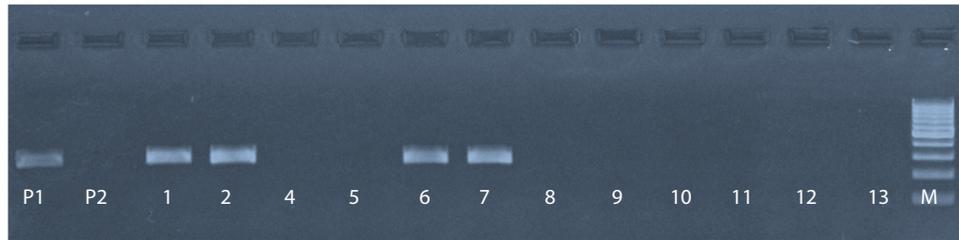


Рис. 1. Электрофоретический профиль маркерных фрагментов гена *Rpf1* у гибридных сеянцев земляники (комбинация скрещивания Былинная × Фейерверк). P1 – Былинная, P2 – Фейерверк, 1–13 – гибридные сеянцы

Fig. 1. Electrophoretic profile of the *Rpf1* gene marker fragments in strawberry hybrid seedlings (crossing combination Bylinnaya × Feyerverk). P1 – Bylinnaya, P2 – Feyerverk, 1–13 – hybrid seedlings

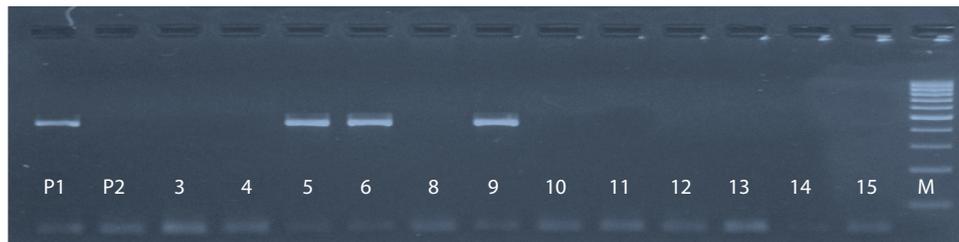


Рис. 2. Электрофоретический профиль маркерных фрагментов локуса *08 To-f* у гибридных сеянцев земляники (комбинация скрещивания Былинная × Олимпийская надежда). P1 – Былинная, P2 – Олимпийская надежда, 3–15 – гибридные сеянцы

Fig. 2. Electrophoretic profile of the *08 To-f* locus marker fragments in strawberry hybrid seedlings (crossing combination Bylinnaya × Olimpiyskaya nadezhda). P1 – Bylinnaya, P2 – Olimpiyskaya nadezhda, 3–15 – hybrid seedlings

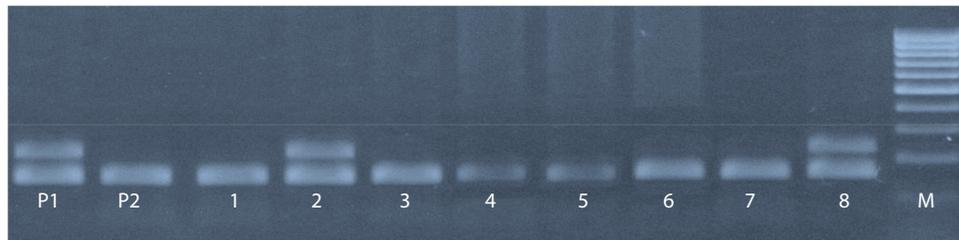


Рис. 3. Электрофоретический профиль маркерных фрагментов гена *Rca2* у гибридных сеянцев земляники (комбинация скрещивания Malwina × Tea). P1 – Malwina, P2 – Tea, 1–8 – гибридные сеянцы

Fig. 3. Electrophoretic profile of the *Rca2* gene marker fragments in strawberry hybrid seedlings (crossing combination Malwina × Tea). P1 – Malwina, P2 – Tea, 1–8 – hybrid seedlings

Таблица 2. Частота совместного наследования локусов резистентности *08 To-f*, *Rca2* и *Rpf1* в гибридном потомстве земляники садовой

Table 2. The frequency of co-inheritance of resistance loci *08 To-f*, *Rca2* and *Rpf1* in hybrid progeny of strawberry

Комбинация скрещивания	Количество сеянцев, %	
	Генотип <i>08 To-f+Rca2</i>	Генотип <i>08 To-f+Rpf1</i>
Былинная (<i>08 To-f+Rpf1+rca2</i>) × Олимпийская надежда (<i>rpf1+rca2</i>)	0	16.667
Былинная (<i>08 To-f+Rpf1+rca2</i>) × Фейерверк (<i>rpf1+rca2</i>)	0	9.302
Олимпийская надежда (<i>rpf1+rca2</i>) × Былинная (<i>08 To-f+Rpf1+rca2</i>)	0	30.303
Привлекательная (<i>rpf1+rca2</i>) × Былинная (<i>08 To-f+Rpf1+rca2</i>)	0	10.417
Фейерверк (<i>rpf1+rca2</i>) × Былинная (<i>08 To-f+Rpf1+rca2</i>)	0	19.149
Malwina (<i>08 To-f+rpf1+Rca2</i>) × Tea (<i>rpf1+rca2</i>)	18.750	0
Florence (<i>08 To-f+rpf1+Rca2</i>) × Faith (<i>08 To-f+rpf1+rca2</i>)	27.500	0

резистентности в комбинации Florence × Faith обусловлено тем, что обе родительские формы являются источниками одного из целевых локусов (*08 To-f*).

Несмотря на то что в последнее время молекулярные маркеры локусов устойчивости к патогенам активно используются для изучения генетических коллекций (Sturzeanu et al., 2016; Miller-Butler et al., 2019; Храбров и др., 2021) и маркер-опосредованной селекции земляники (Sturzeanu et al., 2021; Лыжин, Лукьянчук, 2023б; Keldibekova et al., 2024), идентифицированные комплексные генетические источники устойчивости практически отсутствуют. В частности, сочетание генов *Rca2* и *Rpf1* выявлено у сортов Benton, Real, а также у отборных форм 08-14-42 и 08-14-8 (Sturzeanu et al., 2017), однако большинство исследований посвящено идентификации генетических источников отдельных локусов устойчивости.

Сеянцев, совмещающих в генотипе локусы устойчивости *08 To-f*, *Rca2* и *Rpf1*, выявлено не было. Это объясняется тем, что в анализируемых гибридных комбинациях присутствует по два аллеля резистентности. Для получения гибридов земляники с комплексной устойчивостью к *S. macularis f. fragariae*, *C. acutatum* и *P. fragariae* var. *fragariae* нами планируется проведение гибридизации между идентифицированными гибридными сеянцами – источниками отдельных локусов устойчивости.

Заключение

В результате проведенных исследований определены частоты совместного наследования в гибридном потомстве земляники локусов *08 To-f*, *Rca2* и *Rpf1* и идентифицированы перспективные сеянцы, совмещающие несколько целевых локусов устойчивости к патогенам:

- *08 To-f* (устойчивость к мучнистой росе) и *Rpf1* (устойчивость к фитофторозной корневой гнили) – сеянцы 61-5, 61-6 (Былинная × Олимпийская надежда), 62-6, 62-33, 62-34, 62-41 (Былинная × Фейерверк), 65-1, 65-8, 65-11, 65-14, 65-16, 65-17, 65-21, 65-22, 65-30, 65-35 (Олимпийская надежда × Былинная), 72-17, 72-27, 72-35, 72-59, 72-88 (Привлекательная × Былинная), 69-5, 69-6, 69-7, 69-8, 69-11, 69-35, 69-36, 69-40, 69-47 (Фейерверк × Былинная);
- *08 To-f* (устойчивость к мучнистой росе) и *Rca2* (устойчивость к антракнозной черной гнили) – гибриды 3/4-2, 3/4-8, 3/4-17, 3/4-23, 3/4-24, 3/4-31 (Malwina × Tea), 3/9-3, 3/9-6, 3/9-11, 3/9-22, 3/9-24, 3/9-25, 3/9-28, 3/9-30, 3/9-33, 3/9-34, 3/9-40 (Florence × Faith).

Список литературы / References

Айтжанова С.Д., Орехова Г.В. Селекционная оценка исходных форм земляники на устойчивость к мучнистой росе. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2009;22(1):206-212 [Aytzhanova S.D., Orekhova G.V. Breeding assessment of initial strawberry forms for powdery mildew resistance. *Plodovodstvo i Yagodovodstvo Rossii = Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2009;22(1):206-212 (in Russian)]

Андропова Н.В. Наследование устойчивости к белой пятнистости в гибридном потомстве земляники садовой. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2019;56:106-111. DOI 10.31676/2073-4948-2019-56-106-111 [Andronova N.V. Inheritance of resistance to white spot in hybrid offspring of garden strawberry. *Plodovodstvo i Yagodovodstvo Rossii =*

Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia. 2019;56:106-111. DOI 10.31676/2073-4948-2019-56-106-111 (in Russian)]

Говорова Г.Ф., Говоров В.Н., Говоров Д.Н. Использование селекционно-генетического метода в защите земляники от болезней и вредителей. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2008;2:53-60 [Govorova G.F., Govorov V.N., Govorov D.N. Selective-genetic method use in protection of garden strawberries from pests and diseases. *Izvestiya Timiryazevskoy Selskokhozyaystvennoy Akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2008;2:53-60 (in Russian)]

Жученко А.А. Биологизация и экологизация интенсификационных процессов в сельском хозяйстве. *Вестник ОрелГАУ*. 2009;3:8-12 [Zhuchenko A.A. Biologization and ecologization of intensification processes in agriculture. *Vestnik Orel State Agrarian University*. 2009;3:8-12 (in Russian)]

Камедзько Т.Н., Пугачев Р.М. Селекция земляники садовой на устойчивость к антракнозу. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018;2:130-134 [Kamedzko T.N., Puhachov R.M. Strawberry breeding for anthracnose resistance. *Vestnik Belorusskoy Gosudarstvennoy Selskokhozyaystvennoy Akademii = Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy*. 2018;2:130-134 (in Russian)]

Лукьянчук И.В. Комплексная устойчивость земляники к белой и бурой пятнистостям. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2013;36(1):366-369 [Luk'yanchuk I.V. Complex strawberry resistance to white and brown spots. *Plodovodstvo i Yagodovodstvo Rossii = Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2013;36(1):366-369 (in Russian)]

Лукьянчук И.В., Лыжин А.С., Козлова И.И. Анализ генетической коллекции земляники (*Fragaria L.*) по генам *Rca2* и *Rpf1* с использованием молекулярных маркеров. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(7):795-799. DOI 10.18699/VJ18.423 [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. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(7):795-799. DOI 10.18699/VJ18.423]

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. 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. *Vesti Natsionalnoy Akademii Nauk Belarusi. Seriya Agrarnykh Nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2020;58(3):311-320. DOI 10.29235/1817-7204-2020-58-3-311-320 (in Russian)]

Лыжин А.С., Лукьянчук И.В. Использование ДНК-маркеров в селекции земляники садовой на устойчивость к патогенам (*Sphaerotheca macularis*, *Colletotrichum acutatum*, *Phytophthora fragariae* var. *fragariae*). *Современное садоводство*. 2023а;4:12-22. DOI 10.52415/23126701_2023_0402 [Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V. The use of DNA markers in strawberry breeding for pathogen resistance. *Sovremennoye Sadovodstvo = Contemporary Horticulture*. 2023а;4:12-22. DOI 10.52415/23126701_2023_0402 (in Russian)]

Лыжин А.С., Лукьянчук И.В. Наследование устойчивости к антракнозу, детерминируемой доминантным геном *Rca2*, в гибридном потомстве земляники садовой. *Таврический вестник аграрной науки*. 2023б;3(35):137-144. DOI 10.5281/zenodo.10141405 [Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V. Inheritance of anthracnose resistance determined by the dominant *Rca2* gene in strawberry hybrid progeny. *Tavricheskiy Vestnik Agrarnoy Nauki = Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2023б;3(35):137-144. DOI 10.5281/zenodo.10141405 (in Russian)]

Лыжин А.С., Лукьянчук И.В. Изучение генетической коллекции земляники (*Fragaria L.*) по устойчивости к мучнистой росе. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2024;28(2):166-174. DOI 10.18699/vjgb-24-19

- [Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V. Study of a genetic collection of strawberry (*Fragaria* L.) for resistance to powdery mildew. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2024;28(2):166-174. DOI 10.18699/vjgb-24-19]
- 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;180(1):73-77. DOI 10.30901/2227-8834-2019-1-73-77
- [Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V., Zhananova E.V. Polymorphism of the *Rca2* anthracnose resistance gene in strawberry cultivars (*Fragaria* × *ananassa*). *Trudy po Prikladnoy Botanike, Genetike i Seleksii* = *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(1):73-77. DOI 10.30901/2227-8834-2019-1-73-77 (in Russian)]
- Марченко Л.А. Земляника садовая: оценка отечественного сорта-мента и направления селекции. *Аграрный вестник Урала*. 2020; 12(203):50-60. DOI 10.32417/1997-4868-2020-203-12-50-60
- [Marchenko L.A. Strawberry: evolution of the domestic assortment and direction of selection. *Agrarnyy Vestnik Urala* = *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020;12(203):50-60. DOI 10.32417/1997-4868-2020-203-12-50-60 (in Russian)]
- Марченко Л.А. Методы и способы исследований для решения задачи селекции земляники садовой (аналитический обзор). *Вестник КрасГАУ*. 2021;9(174):59-68. DOI 10.36718/1819-4036-2021-9-59-68
- [Marchenko L.A. Strawberry: evolution of the domestic assortment and direction of selection (analytical review). *Vestnik KrasGAU* = *Bulletin KrasSAU*. 2021;9(174):59-68. DOI 10.36718/1819-4036-2021-9-59-68 (in Russian)]
- Пикунова А.В. Оценка генетического разнообразия исходного и селекционного материала ягодных культур с помощью молекулярных маркеров: Дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2011
- [Pikunova A.V. Assessment of Genetic Diversity of Source and Breeding Material of Berry Crops Using Molecular Markers. PhD thesis. St. Petersburg, 2011 (in Russian)]
- Храбров И.Э., Антонова О.Ю., Шаповалов М.И., Семенова Л.Г. Молекулярный скрининг сортовой коллекции земляники ВИР на наличие маркера гена устойчивости к антракнозной черной гнили *Rca2*. *Биотехнология и селекция растений*. 2021;4(4):15-24. DOI 10.30901/2658-6266-2021-4-03
- [Khrabrov I.E., Antonova O.Yu., Shapovalov M.I., Semenova L.G. Molecular screening of the VIR strawberry varieties collection for the presence of a marker for the anthracnose black rot resistance gene *Rca2*. *Biotechnologiya i Seleksiya Rasteniy* = *Plant Biotechnology and Breeding*. 2021;4(4):15-24. DOI 10.30901/2658-6266-2021-4-03 (in Russian)]
- Barbey C.R., Lee S., Verma S., Bird K.A., Yocca A.E., Edger P.P., Knapp S.J., Whitaker V.M., Folta K.M. Disease resistance genetics and genomics in octoploid strawberry. *G3: Genes Genomes Genetics*. 2019;9(10): 3315-3332. DOI 10.1534/g3.119.400597
- Gorgitano M.T., Pirilli M. Life cycle economic and environmental assessment for a greening agriculture. *Calitatea*. 2016;17(51):181-185
- 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. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 2000; 125(3):330-339. DOI 10.21273/JASHS.125.3.330
- Keldibekova M., Bezlepina E., Zubkova M., Dolzhikova M. DNA-screening of strawberry cultivars and hybrids (*Fragaria ananassa* Duch.) for resistance to fungal diseases. *Pak. J. Bot.* 2024;56(2):29. DOI 10.30848/PJB2024-2(29)
- Khan A.H., Hassan M., Khan M.N. Conventional plant breeding program for disease resistance. In: *Plant Disease Management Strategies for Sustainable Agriculture through Traditional and Modern Approaches. Sustainability in Plant and Crop Protection*. Vol. 13. Springer, 2020; 27-51. DOI 10.1007/978-3-030-35955-3_3
- Koishihara H., Enoki H., Muramatsu M., Nishimura S., Susumu Y.U.I., Honjo M. Marker associated with powdery mildew resistance in plant of genus *Fragaria* and use thereof. Patent No. US 10,724,093 B2. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 2020
- Lerceteau-Kohler E., Guerin G., Denoyes-Rothan B. Identification of SCAR markers linked to *Rca2* anthracnose resistance gene and their assessment in strawberry germplasm. *Theor. Appl. Genet.* 2005;111: 862-870. DOI 10.1007/s00122-005-0008-1
- Lyzhin A., Luk'yanchuk I. Marker controlled screening of resistant to red stele root rot (*Rpf1* gene) strawberry selected forms. *BIO Web Conf.* 2021;36:01006. DOI 10.1051/bioconf/20213601006
- 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. *Hortic. Sci.* 2019;54(5):793-798. DOI 10.21273/HORTSCI13805-18
- Njuguna W. Development and Use of Molecular Tools in *Fragaria*. PhD thesis. Oregon State University, 2010
- Sturzeanu M., Coman M., Ciuca M., Ancu I., Cristina D., Turcu A.G. Molecular characterization of allelic status of the *Rpf1* and *Rca2* genes in six cultivars of strawberries. *Acta Hort.* 2016;1139:107-112. DOI 10.17660/ActaHortic.2016.1139.1
- Sturzeanu M., Calinescu M., Fralova L., Klakotskaya N., Ancu I., Sumedrea M., Marin F.C. Assessing some strawberry genotypes used in breeding programme for increasing resistance to diseases. *Fruit Growing Res.* 2017;33:29-34
- Sturzeanu M., Ciuca M., Cristina D., Turcu A.G. Use of RAPD and SCAR markers for identification of strawberry genotypes with red stele resistance genes *Rpf1* and fruit rot resistance genes *Rca2* in the hybrid progenies. *Acta Hort.* 2021;1309:93-100. DOI 10.17660/Acta Hort. 2021.1309.15
- Whitaker V.M. Applications of molecular markers in strawberry. *J. Berry Res.* 2011;1:115-127. DOI 10.3233/BR-2011-013
- Whitaker V.M., Knapp S.J., Hardigan M.A., Edger P.P., Slovin J.P., Bassil N.V., Hytönen T., Mackenzie K.K., Lee S., Jung S., Main D., Barbey C.R., Verma S. A roadmap for research in octoploid strawberry. *Hortic. Res.* 2020;7:33. DOI 10.1038/s41438-020-0252-1

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 02.03.2024. После доработки 23.05.2024. Принята к публикации 04.06.2024.