УДК 634.75:577.2:632.4
DOI: 10.31360/2225-3068-2024-88-122-132
EDN SZQPBE

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ СКРИНИНГ ОТБОРНЫХ ФОРМ ЗЕМЛЯНИКИ (*FRAGARIA* × *ANANASSA* DUCH.) ПО УСТОЙЧИВОСТИ К МУЧНИСТОЙ РОСЕ (ЛОКУС *08 TO-F*)

Лыжин А.С., Лукъянчук И.В.

Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина,
г. Мичуринск, Россия, e-mail: Ranenburzhetc@yandex.ru

Лыжин А.С. orcid.org/0000-0001-9770-8731
Лукъянчук И.В. orcid.org/0000-0003-1626-840X

Устойчивость к грибным патогенам – важная характеристика агробиологического потенциала сорта. К числу наиболее распространённых грибных заболеваний земляники садовой относится мучнистая роса (*Sphaerotheca macularis* Mag. f. *fragariae* Jacz.). Контроль распространения патогена в насаждениях земляники в основном обеспечивается применением синтетических фунгицидов. Однако широкое использование химических средств защиты приводит к появлению резистентности у некоторых изолятов *S. macularis* f. *fragariae*. В связи с этим актуальным направлением является создание новых сортов земляники с генетически детерминированной устойчивостью к мучнистой росе. У сортов земляники садовой выявлено несколько крупных локусов количественных признаков (QTLs) устойчивости к мучнистой росе. Для локуса *08 To-f* разработаны диагностические ДНК-маркеры, пригодные для использования в программах маркер-опосредованной селекции. Цель исследований – молекулярно-генетический анализ отборных форм земляники по локусу *08 To-f* для выявления перспективных сеянцев с генетически детерминированной устойчивостью к мучнистой росе. За годы исследований отсутствием признаков поражения мучнистой росой характеризовалось 57,9 % форм (сложные межвидовые гибриды: 928-12, 932-29, 35-1, 35-5, 35-16; межсортовые гибриды 911-16, 72-71, 69-29, 62-41, 56-17). Из них маркер IB535110, сцепленный с локусом устойчивости *08 To-f*, идентифицирован у 4 отборных форм межсортового происхождения: 72-71 (‘Привлекательная’ × ‘Былинная’), 69-29 (‘Фейерверк’

× ‘Былинная’), 62-41 (‘Былинная’ × ‘Фейерверк’), 56-17 (‘Gigantella Maxim’ × ‘Привлекательная’). Отборные формы 62-41, 69-29 и 72-71 дополнительно характеризуются комплексом таких ценных агробиологических признаков как устойчивость к абиотическим стресс-факторам, устойчивость к фитофторозной корневой гнили (ген *Rpf1*), высокая продуктивность и качество плодов. Отдалённые гибриды 298-19-9-43, 928-12, 26-5 (FB_2-FB_3 *F. orientalis*, *F. moschata*, *F.* × *ananassa*) локус *08 To-f* от исходных дикорастущих видов не унаследовали. Их устойчивость к *S. macularis* f. *fragariae* предположительно обусловлена другими генетическими детерминантами.

Ключевые слова: *Fragaria* × *ananassa* Duch., генотип, молекулярные маркеры, устойчивость, мучнистая роса, QTL.

Введение. Мучнистая роса (*Sphaerotheca macularis* Mag. f. *fragariae* Jacz. (син. *Podosphaera aphanis* Wallr.)) – широко распространённое заболевание растений земляники [9, 13]. Культивируемые сорта различаются по степени устойчивости к патогену (потери урожая сильно восприимчивых сортов могут превышать 50 %), большое влияние на степень поражения растений оказывают складывающиеся погодно-климатические условия [8, 10]. Наиболее благоприятны для развития *S. macularis* f. *fragariae* пониженные температуры воздуха (15–25 °C) в сочетании с высокой влажностью (>35 %) [22]. Для контроля распространения мучнистой росы земляники используются фунгициды контактного (сера) и системного (каптан, беномил и др.) действия [11, 22]. Однако *S. macularis* f. *fragariae* характеризуется способностью вырабатывать резистентность к фунгицидам [21]. В частности, отмечены случаи выработки резистентности у отдельных изолятов *S. macularis* f. *fragariae* к трифлоксистробину, пентиопираду и хиноксифену [22]. В этой связи перспективным направлением борьбы с распространением мучнистой росы в насаждениях земляники является выявление и создание новых сортов с генетически детерминированной устойчивостью.

Устойчивость сортов *F.* × *ananassa* к мучнистой росе контролируется полигенно [17, 18]. А.А. Зубовым установлено, что при интрогрессивной гибридизации высокоустойчивых к мучнистой росе форм дикорастущих октоплоидных видов (*F. ovalis* Rydb.) с сортами земляники ананасной, устойчивость наследуется промежуточно при значительном доминировании высокой устойчивости, т. е. полученные отдалённые гибриды по данному признаку приближались к землянике овальной. В потомстве от скрещивания автооктоплоидов *F. orientalis* × *F.* × *ananassa* также наблюдалось преобладание высокоустойчивых к мучнистой росе сеянцев. Сохранение высокого

уровня устойчивости последующих бэкроссов позволяет получать генотипы с комплексом ценных признаков [2]. Для некоторых генотипов и отдельных комбинаций выявлены крупные QTL, оказывающие значительный вклад в формирование устойчивости [12, 16, 23]. Для одного из идентифицированных QTL (*08 To-f*) разработаны диагностические ДНК-маркеры (IB535110 и IB533828), пригодные для использования в рамках программ маркер-опосредованной селекции (надёжность идентификации устойчивых к мучнистой росе генотипов в анализируемых комбинациях скрещивания составила 98,5 %) [16]. Валидация маркера IB535110 с использованием геноплазмы отечественных сортов, проведённая нами ранее, подтвердила пригодность данного маркера для идентификации устойчивых к мучнистой росе в условиях г. Мичуринска Тамбовской области генотипов земляники [7].

Цель исследований – молекулярно-генетический анализ отборных форм земляники по локусу *08 To-f* для выявления перспективных сеянцев с генетически детерминированной устойчивостью к мучнистой росе.

Объекты и методы исследований. Биологическими объектами исследований являлись отборные формы земляники садовой межвидового и межсортового происхождения (18 генотипов из 13 комбинаций скрещивания), полученные в «ФНЦ им. И.В. Мичурина» (табл. 1).

Фенотипическую оценку устойчивости генотипов земляники к мучнистой росе проводили в 2021–2023 гг. в полевых условиях на естественном инфекционном фоне по шкале от 0 до 5 баллов согласно методическим рекомендациям А.А. Зубова [1].

Экстракцию геномной ДНК проводили из молодых листьев с использованием модифицированного CTAB-метода [19]. Для выявления локуса *08 To-f* устойчивости к мучнистой росе использовали ДНК-маркер IB535110 (For acacatatatgaatcggagcca, Rev gctcaagatgctcaatcgaa) [16]. Целевым ампликоном данного маркера является фрагмент размером 500 п.н., который сцеплен с локусом устойчивости *08 To-f* и синтезируется только при его наличии в генотипе [16]. Положительным контролем наличия локуса резистентности *08 To-f* являлся дикорастущий вид *F. orientalis* Los. [7]. Так как используемый маркер является доминантным, то для исключения ложноотрицательных результатов необходима предварительная оценка качества экстрагированной ДНК с использованием микросателлитных маркеров. В наших исследованиях был использован SSR-маркер EMFv020 (For caggcgccaacggcgtgctcttgt, Rev cagcgccgccagctcatccctagg, целевой продукт – около 180 п.н.) [5].

Полимеразную цепную реакцию проводили в термоциклере T100 (Bio-Rad, США) с использованием описанных ранее набора реактивов и программ амплификации [5, 7].

Таблица 1. **Анализируемые отборные формы земляники садовой**
Table 1. **Analyzed strawberry selected forms**

№	Отборная форма	Комбинация скрещивания
1	*F. orientalis* Los (контроль)	Дикорастущий вид
Межвидового происхождения		
2	298-19-9-43	{[(*F. orientalis* × ‘Cavalier’) × *F. moschata*] × ‘Redcoat’} × ‘Senga Sengana’
3	928-12	(({[(*F. orientalis* ×’ Cavalier’) × *F. moschata*] × ‘Redcoat’} × ‘Senga Sengana’) × ‘Привлекательная’
4	26-5	‘Рубиновый кулон’ × ({[(*F. orientalis* × ‘Cavalie’r) × *F. moschata*] × ‘Redcoat’} × ‘Senga Sengana’)
5	933-4	*F. virginiana* subsp. *platypetala* × ‘Рубиновый кулон’
6	932-29	*F. virginiana* subsp. *platypetala* × ‘Фейерверк’
7	35-1	({[‘Рубиновый кулон’ × (‘Фестивальная’ × *F. ovalis*)] × ‘Kardinal’} × ‘Привлекательная’) × ‘Maryshka’
8	35-5	
9	35-16	
Межсортового происхождения		
10	911-16	‘Фейерверк’ × ‘Фестивальная Ромашка’
11	72-24	‘Привлекательная’ × ‘Былинная’
12	72-71	
13	69-29	‘Фейерверк’ × ‘Былинная’
14	62-41	‘Былинная’ × ‘Фейерверк’
15	61-15	‘Былинная’ × ‘Олимпийская надежда’
16	56-5	‘Gigantella Maxim’ × ‘Привлекательная’
17	56-17	
18	56-19	
19	21-14	‘Урожайная ЦГЛ’ × ‘Рубиновый кулон’

Разделение продуктов амплификации осуществляли методом электрофореза в 2%-ном агарозном геле с использованием трис-боратного буфера (ТБЕ). Для определения размера амплифицированных продуктов использовали ДНК-маркер Step100 (Биолабмикс, Россия).

Визуализацию результатов проводили с использованием системы гель-документации ChemiDoc XRS + (Bio-Rad, США).

Результаты и их обсуждение. Степень поражения изучаемых отборных форм земляники мучнистой росой в среднем за годы исследований варьировало от 0,0 до 1,6 балла. Отсутствием признаков поражения *S. macularis* f. *fragariae* характеризовалось 57,9 % генотипов (табл. 1). К их числу относятся как сложные межвидовые гибриды (928-12, 932-29, 35-1, 35-5, 35-16), полученные с участием дикорастущих видов *F. orientalis* Los, *F. moschata* Duch., *F. virginiana* subsp. *platypetala* (Rydb.) Staudt, *F. ovalis* (Lehm.) Rydb., которые являются ценными источниками устойчивости ко многим патогенам (в том числе – к *S. macularis* f. *fragariae* [14, 15]), так и формы, полученные гибридизацией внутри вида *F.* × *ananassa* (911-16, 72-71, 69-29, 62-41, 56-17). Высоким уровнем устойчивости к мучнистой росе (степень поражения не более 1 балла) характеризовались гибриды 933-4, 26-5 (межвидового происхождения) и 72-24, 56-5, 56-19, 21-14 (межсортового происхождения). Отборные формы 298-19-9-43 (FB_2 *F. orientalis*, *F. moschata*, *F.* × *ananassa*) и 61-15 (*F.* × *ananassa*) отнесены к группе среднеустойчивых (степень поражения от 1,1 до 3,0 балла).

Для выявления генетических детерминант устойчивости отборные формы земляники были проанализированы на наличие сцепленного с целевым локусом резистентности ДНК-маркера. Предварительная оценка качества экстрагированной ДНК показала её пригодность для ПЦР (рис. 1).

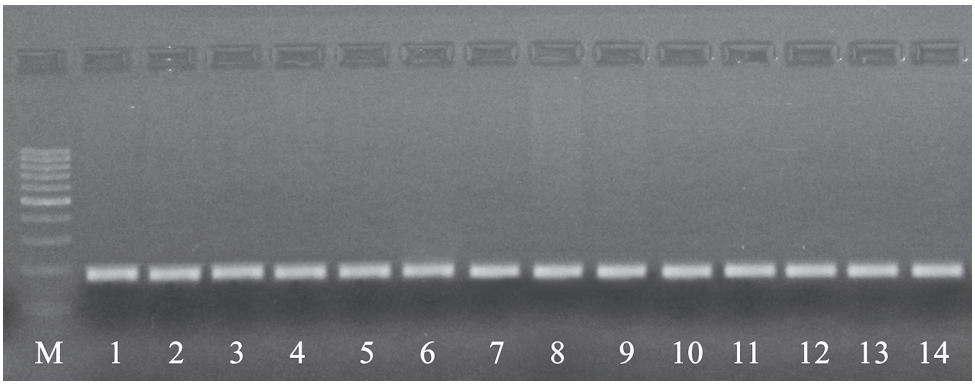

Рис. 1. Электрофоретический профиль SSR-маркера EMFv020 отборных форм земляники: М – маркер молекулярного веса ДНК, 1–14 – отборные формы земляники

Fig. 1. Electrophoresis profile of SSR-marker EMFv020 in strawberry selected forms: M – DNA molecular weight marker, 1–14 – strawberry selected forms

В результате проведённого молекулярно-генетического анализа ДНК-маркер IB535110, локализованный в районе пика QTL *08 To-f* устойчивости к мучнистой росе, выявлен у 4 отборных форм, что составляет 22,2 % от их общего количества. Пример идентификации приведён на рисунке 2, результаты представлены в таблице 2.

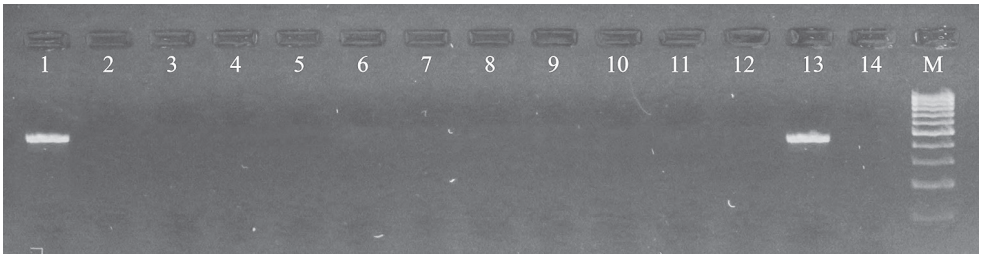

Рис. 2. Электрофоретический профиль маркерных фрагментов QTL *08 To-f* у отборных форм земляники
1 – *F. orientalis* (контроль), 2 – 911-16; 3 – 35-1; 4 – 933-4; 5 – 35-16; 6 – 61-15; 7 – 26-5; 8 – 21-14; 9 – 56-5; 10 – 928-12; 11 – 932-29; 12 – 72-24; 13 – 56-17; 14 – 56-19; M – маркер молекулярного веса ДНК

Fig. 2. Electrophoretic profile of marker fragments of the resistance locus *08 To-f* in strawberry selected forms
1 – *F. orientalis* (control), 2 – 911-16; 3 – 35-1; 4 – 933-4; 5 – 35-16; 6 – 61-15; 7 – 26-5; 8 – 21-14; 9 – 56-5; 10 – 928-12; 11 – 932-29; 12 – 72-24; 13 – 56-17; 14 – 56-19; M – DNA molecular weight marker

Необходимо отметить, что все отборные формы с идентифицированным локусом устойчивости *08 To-f* получены гибридизацией между сортами земляники садовой, тогда как отдалённые гибриды 298-19-9-43, 928-12, 26-5 (FB_2-FB_3 *F. orientalis*, *F. moschata*, *F.* × *ananassa*) анализируемый QTL от исходных дикорастущих видов не унаследовали.

Наличие локуса *08 To-f* у отборных форм 62-41, 69-29 и 72-71 подтверждается анализом их происхождения. Они получены с использованием сорта ‘Былинная’, для которого методом ДНК-анализа подтверждено наличие QTL-устойчивости к мучнистой росе [7]. При этом необходимо отметить, что с участием данного сорта также получены отборные формы, не унаследовавшие QTL *08 To-f* – 61-15 (‘Былинная’ × ‘Олимпийская надежда’), 72-24 (‘Привлекательная’ × ‘Былинная’). Отборная форма 56-17 выделена в гибридной комбинации ‘Gigantella Maxim’ × ‘Привлекательная’, для исходных форм которой опубликованных данных о наличии или отсутствии локуса *08 To-f* нет. Однако по результатам фенотипической оценки устойчивости сорт

‘Gigantella Maxim’ признаков поражения мучнистой росой не имеет, а сорт ‘Привлекательная’ относится к среднеустойчивым (средняя степень поражения – 2,0 балла) [3]. В связи с этим, предполагаемый источник QTL *08 To-f* для отборной формы 56-17 – сорт ‘Gigantella Maxim’.

Таблица 2. **Результаты фенотипической оценки и молекулярно-генетического анализа отборных форм земляники по устойчивости к мучнистой росе**

Table 2. **Results of phenotypic assessment and molecular genetic analysis of strawberry selected forms for resistance to powdery mildew**

№	Отборная форма	Степень поражения, *балл*	QTL *08 To-f*
			Маркер IB535110
1	*F. orientalis* Los (контроль)	0,0	1
Межвидового происхождения			
2	298-19-9-43	1,6	0
3	928-12	0,0	0
4	26-5	1,0	0
5	933-4	0,5	0
6	932-29	0,0	0
7	35-1	0,0	0
8	35-5	0,0	0
9	35-16	0,0	0
Межсортового происхождения			
10	911-16	0,0	0
11	72-24	0,7	0
12	72-71	0,0	1
13	69-29	0,0	1
14	62-41	0,0	1
15	61-15	1,2	0
16	56-5	1,0	0
17	56-17	0,0	1
18	56-19	0,5	0
19	21-14	0,5	0

Примечание: * – 1 – целевой аллель присутствует,
0 – целевой аллель отсутствует

Сопоставление результатов молекулярно-генетического анализа и фенотипической оценки устойчивости показало, что все генотипы с идентифицированным локусом *08 To-f* характеризуются отсутствием признаков поражения *S. macularis* f. *fragariae*, что позволяет рекомендовать для селекционной работы QTL *08 To-f* как перспективный локус резистентности к мучнистой росе в условиях г. Мичуринска Тамбовской области, а формы 56-17, 62-41, 69-29 и 72-71 – в качестве генетических источников устойчивости к *S. macularis* f. *fragariae*. Кроме того, согласно проведённым ранее исследованиям [4, 6, 20], отборные формы 62-41, 69-29 и 72-71 дополнительно характеризуются наличием аллеля *Rpf1* устойчивости к фитофторозной корневой гнили (*Phytophthora fragariae* var. *fragariae* Hickman), а также высоким уровнем адаптации к абиотическим (неблагоприятные факторы осенне-зимнего периода, высокие температуры и недостаток влаги в период вегетации) и биотическим стрессорам (белая и бурая пятнистости листьев), высокой продуктивностью, ценными товарно-потребительскими качествами и улучшенным биохимическим составом плодов.

Кроме того, необходимо отметить, что у отборных форм 928-12, 932-29, 35-1, 35-5, 35-16 и 911-16, не имеющих за годы проведения исследований признаков поражения мучнистой росой, локус устойчивости *08 To-f* не выявлен. Полученные результаты свидетельствуют о наличии у данных форм дополнительных генетических детерминант устойчивости к *S. macularis* f. *fragariae*.

Выводы. Проведена фенотипическая оценка и молекулярно-генетический анализ устойчивости отборных форм земляники по устойчивости к мучнистой росе (*S. macularis* f. *fragariae*). Отсутствием признаков поражения за годы исследований характеризовались отборные формы 928-12, 932-29, 35-1, 35-5, 35-16 (межвидового происхождения); 911-16, 72-71, 69-29, 62-41, 56-17 (межсортового происхождения). Диагностический ДНК-маркер IB535110, ассоциированный с локусом устойчивости *08 To-f*, выявлен у гибридов 72-71 (‘Привлекательная’ × ‘Былинная’), 69-29 (‘Фейерверк’ × ‘Былинная’), 62-41 (‘Былинная’ × ‘Фейерверк’) и 56-17 (‘Gigantella Maxim’ × ‘Привлекательная’). Отборные формы 62-41, 69-29 и 72-71 дополнительно характеризуются комплексом таких ценных агробиологических признаков как устойчивость к абиотическим стресс-факторам, устойчивость к фитофторозной корневой гнили (ген *Rpf1*), высокая продуктивность и качество плодов. Устойчивость к мучнистой росе отборных форм 928-12, 932-29, 35-1, 35-5, 35-16 и 911-16 предположительно обусловлена другими генетическими детерминантами.

Список литературы/ References

1. Зубов А.А. Генетические особенности и селекция земляники: методические указания, 1990. [Zubov A.A. Genetic features and selection of strawberry: guidelines, 1990. (In Rus)].
2. Зубов А.А. Генетические особенности и селекция земляники. Докт. дис. Мичуринск, 1992. [Zubov A.A. Genetic features and selection of strawberry. Doct. dis. Michurinsk, 1992. (In Rus)].
3. Лукъянчук И.В. Оценка устойчивости сортов и гибридных форм земляники к мучнистой росе: XXVI Мичуринские чтения «Развитие научного наследия И.В. Мичурина в решении проблем современного садоводства»: материалы всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 165-летию со дня рождения И.В. Мичурина, 26 октября – 07 ноября 2020, Мичуринск, «ФНЦ им. И.В. Мичурина», 2021; 155-159. [Luk'yanchuk I.V. Evaluation of strawberry varieties and hybrid forms to resistance of powdery mildew: XXVI Michurin Readings "Development of the Scientific Heritage of I.V. Michurin in solving the problems of modern gardening": materials of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 165th anniversary of the birth of I.V. Michurin, October 26 –November 07, 2020, Michurinsk, «I.V. Michurin FSC», 2021; 155-159. (In Rus)].
4. 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. [Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V. 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. DOI: 10.29235/1817-7204-2020-58-3-311-320. (In Rus)].
5. Лыжин А.С., Лукъянчук И.В. Молекулярный скрининг перспективных отборных форм земляники по устойчивости к антракнозу (ген *Rca2*), Таврический вестник аграрной науки. 2022; 2(30) : 66-73. [Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V. Molecular screening of promising strawberry selected forms by anthracnose resistance (*Rca2* gene), Taurida herald of the agrarian sciences. 2022; 2(30) : 66-73. (In Rus)].
6. Лыжин А.С., Лукъянчук И.В. 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. [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. (In Rus)].
7. Лыжин А.С., Лукъянчук И.В. Использование ДНК-маркеров в селекции земляники садовой на устойчивость к патогенам (*Sphaerotheca macularis*, *Colletotrichum acutatum*, *Phytophthora fragariae* var. *fragariae*), Современное садоводство. 2023; 4:12-22. [Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V. The use of DNA markers in strawberry breeding for pathogen resistance, Contemporary horticulture. 2023; 4 : 12-22. DOI: 10.52415/23126701_2023_0402. (In Rus)].
8. Макарова Г.А., Колесникова А.В., Стольникова Н.П. Влияние метеорологических условий на развитие грибных болезней земляники и винограда, Достижения науки и техники АПК. 2021; 35(9) : 42-47. [Makarova G.A., Kolesnikova A.V., Stol'nikova N.P.

Weather condition influence on strawberry and grape fungal diseases progression, Achievements of science and technology in agro-industrial complex. 2021; 35(9) : 42-47. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_9_42. (In Rus)].
9. Холод Н.А., Семенова Л.Г. Восприимчивость сортов земляники садовой к мучнистой росе, Плодоводство и виноградарство Юга России. 2014; 25(01) : 111-115. [Holod N.A., Semenova L.G. Susceptibility of strawberry varieties to powdery mildew, Fruit growing and viticulture of South Russia. 2014; 25(01) : 111-115. (In Rus)].
10. Amsalem L., Freeman S., Rav-David D., et al. Effect of climatic factors on powdery mildew caused by *Sphaerotheca macularis* f. sp. *fragariae* on strawberry, European journal of plant pathology. 2006; 114 : 283-292. DOI: 10.1007/s10658-005-5804-6.
11. Bajpai S., Shukla P.S., Asiedu S. et al. A biostimulant preparation of brown seaweed *Ascophyllum nodosum* suppresses powdery mildew of strawberry, The plant pathology journal. 2019; 35(5) : 406. DOI: 10.5423/PPJ.OA.03.2019.0066.
12. Cockerton H.M., Vickerstaff R.J., Karlström A. et al. Identification of powdery mildew resistance QTL in strawberry (*Fragaria × ananassa*), Theor Appl Genet. 2018; 131(9) : 1995-2007. DOI: 10.1007/s00122-018-3128-0.
13. Gadoury D.M., Asalf B., Heidenreich M.C.et al. Initiation, development, and survival of cleistothecia of *Podosphaera aphanis* and their role in the epidemiology of strawberry powdery mildew, Phytopathology. 2010; 100(3) : 246-251. DOI: 10.1094/PHYTO-100-3-0246.
14. Hancock J.F., Finn C.E., Hokanson S.C., et al. A multisite comparison of native octoploid strawberries from North and South America, J. Amer. Soc. Hort. Sci. 2001; 126(5) : 579-586.
15. Kennedy C., Hasing T.N., Peres N.A., Whitaker V.M. Evaluation of strawberry species and cultivars for powdery mildew resistance in open-field and high tunnel production systems, HortScience. 2013; 48(9) : 1125-1129. DOI: 10.21273/HORTSCI.48.9.1125.
16. Koishihara H., Enoki H., Muramatsu M., et al. Marker associated with powdery mildew resistance in plant of genus *Fragaria* and use thereof. U.S. Patent No. 10,724,093. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. 2020.
17. Liang L., Lin Z. Genetic study on resistance to Powdery Mildew in Strawberry, Acta Horticulturae. 2014; 1049 : 255.
18. Lifshitz C., David N., Shalit N., et al. Inheritance of powdery mildew resistance in strawberry lines from the Israeli germplasm collection, NASS/NASGA Proceedings. 2007; 74-76.
19. 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.
20. Lyzhin A., Luk'yanchuk I. Marker controlled screening of resistant to red stele root rot (*Rpf1* gene) strawberry selected forms, BIO Web of Conferences. 2021; 36 : 01006. DOI: 10.1051/bioconf/20213601006.
21. Onofre R.B., Gadoury D.M., Stensvand A., et al. Use of ultraviolet light to suppress powdery mildew in strawberry fruit production fields, Plant Disease. 2021; 105(9) : 2402-2409. DOI: 10.1094/PDIS-04-20-0781-RE.
22. Palmer M.G., Holmes G.J. Fungicide sensitivity in strawberry powdery mildew caused by *Podosphaera aphanis* in California, Plant Disease. 2021; 105(9) : 2601-2605. DOI: 10.1094/PDIS-12-20-2604-RE.
23. Sargent D.J., Buti M., Šurbanovski N., et al. Identification of QTLs for powdery mildew (*Podosphaera aphanis*; syn. *Sphaerotheca macularis* f. sp. *fragariae*) susceptibility in cultivated strawberry (*Fragaria × ananassa*), PLOS ONE. 2019; 14(9) : e0222829. DOI: 10.1371/journal.pone.0222829.

MOLECULAR SCREENING OF SELECTED STRAWBERRY FORMS (*FRAGARIA* × *ANANASSA* DUCH.) FOR RESISTANCE TO POWDERY MILDEW (LOCUS *08 TO-F*)

Lyzhin A.S., Lukyanchuk I.V.

I.V. Michurin Federal Scientific Centre,
Michurinsk, Russia, e-mail: Ranenburzhetc@yandex.ru

Resistance to fungal pathogens is an important trait of a cultivar's agrobiological potential. Powdery mildew (*Sphaerotheca macularis* Mag. f. *fragariae* Jacz.) is one of the most common fungal diseases of strawberry. Control of the pathogen spreading in strawberry plantations is mainly ensured by synthetic fungicides use. However, the widespread use of chemical plant protection products leads to resistance in some isolates of *S. macularis* f. *fragariae*. In this regard, a current research direction is the creation of new strawberry cultivars with genetically determined resistance to powdery mildew. Several large quantitative trait loci (QTLs) for resistance to powdery mildew were identified in strawberry cultivars. For the *08 To-f* locus, diagnostic DNA-markers were developed that are suitable for use in marker-assisted selection. The purpose of the research is molecular genetic analysis of strawberry selected forms at the *08 To-f* locus to identify promising seedlings with genetically determined resistance to powdery mildew. Over the years of research, 57.9 % of strawberry plants were characterized by the absence of powdery mildew (complex interspecific hybrids 928-12, 932-29, 35-1, 35-5, 35-16; intervarietal hybrids 911-16, 72-71, 69- 29, 62-41, 56-17). Of these, marker IB535110, linked to the resistance locus *08 To-f*, was identified in 4 strawberry selected forms of intervarietal origin: 72-71 ('Privlekatelnaya' × 'Bylinnaya'), 69-29 ('Feyyerverk' × 'Bylinnay'a), 62-41 ('Bylinnaya' × 'Feyyerverk'), 56 -17 ('Gigantella Maxim' × 'Privlekatelnaya'). Strawberry selected forms 62-41, 69-29 and 72-71 are additionally characterized by a complex of such valuable agrobiological traits as resistance to abiotic stress factors, resistance to red stele root rot (*Rpf1* gene), high productivity and fruit quality. Interspecific hybrids 298-19-9-43, 928-12 and 26-5 (FB_2-FB_3 *F. orientalis*, *F. moschata*, *F.* × *ananassa*) did not inherit the *08 To-f* locus from the original wild species. Resistance of these strawberry forms to *S. macularis* f. *fragariae* is presumably due to other genetic determinants.

Key words: *Fragaria* × *ananassa* Duch., genotype, molecular markers, resistance, powdery mildew, QTL.