

Скрининг коллекции земляники садовой на наличие локусов резистентности *Rca2* и *08 To-f*

© 2025. А. В. Худякова, М. Г. Маркова ✉

ФГБНУ «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, Российская Федерация

Земляника садовая (*Fragaria × ananassa* Duch.) является одной из наиболее распространенных возделываемых ягодных культур. Огромный ущерб промышленным насаждениям наносят грибковые заболевания. Основной задачей современной селекции является выведение сортов земляники с генетическими детерминантами устойчивости к различным патогенам. Цель исследований – анализ сортов земляники садовой отечественной и зарубежной селекции с помощью ДНК-маркеров к локусам резистентности к антракнозной гнили (*Rca2*) и мучнистой росе (*08 To-f*). Объекты исследования – 32 сортообразца земляники садовой коллекции отдела интродукции и акклиматизации растений Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, в том числе 21 образец отечественной и 11 зарубежной селекции. Для выявления генов устойчивости земляники садовой использовали сцепленные с ними доминантные диагностические ДНК-маркеры *STS-Rca2_240* и *IB535110*. Контроль протекания ПЦР проводили с использованием маркера *EMFv020*. В результате молекулярно-генетического скрининга ген устойчивости к антракнозу *Rca2* был обнаружен у одного сорта отечественной селекции (Красная пчелка, Россия) и одного – зарубежной (*Malling Pandora*, Великобритания). *QTL 08 To-f* выявлен у четырех сортов коллекции: одного сорта отечественной селекции (Дуэт) и трех – зарубежной (*Malwina*, Германия; *Marmion*, Шотландия; *Malling Pandora*). Всего среди анализируемых генотипов земляники садовой маркер *STS-Rca2_240* обнаружили у 6,3 % изучаемых форм, маркер *IB535110* – у 12,5 %. Комплексным источником аллелей резистентности *Rca2* и *QTL 08 To-f* являлся сорт *Malling Pandora*. Выявленные перспективные генисточники будут использованы в селекционной программе получения устойчивых к грибным патогенам сортов земляники садовой.

Ключевые слова: *Fragaria × ananassa*, антракнозная черная гниль, мучнистая роса, устойчивость, ДНК-маркеры, полимеразная цепная реакция

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (тема № FUUE-2024-0012).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Худякова А. В., Маркова М. Г. Скрининг коллекции земляники садовой на наличие локусов резистентности *Rca2* и *08 To-f*. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2025;26(3):546–554.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.546-554>

Поступила: 25.02.2025

Принята к публикации: 11.06.2025

Опубликована онлайн: 30.06.2025

Screening of the strawberry collection for the presence of resistance loci *Rca2* and *08 To-f*

© 2025. Anna V. Khudyakova, Marina G. Markova ✉

Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russian Federation

Garden strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) is one of the most common cultivated berry crops. Fungal diseases cause enormous damage to industrial plantings. The main task of modern breeding is to create strawberry cultivars with genetic determinants of resistance to various pathogens. The aim of the research was to identify the resistance loci of Russian and foreign strawberry cultivars to anthracnose (*Rca2*) and powdery mildew (*08 To-f*) using DNA markers. The objects of the study were 32 strawberry cultivars from the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences collection, including 21 samples of Russian strawberry cultivars and 11 of foreign breeding. The dominant diagnostic DNA markers *STS-Rca2_240* and *IB535110* were used to identify the resistance genes of the strawberry. PCR monitoring was performed using the *EMFv020* marker. As a result of molecular genetic screening, the anthracnose resistance gene *Rca2* was detected in one Russian strawberry cultivar ('Krasnaya pchelka', Russia) and in one foreign cultivar ('Malling Pandora', Great Britain). *QTL 08 To-f* was detected in four cultivars of the collection: one Russian strawberry cultivar ('Duet') and three foreign cultivars ('Malwina', Germany; 'Marmion', Scotland; 'Malling Pandora'). In total, among the analyzed strawberry genotypes, marker *STS-Rca2_240* was detected in 6.3 % of the studied forms, and the marker *IB535110* in 12.5 %. The complex source of *Rca2* and *QTL 08 To-f* resistance alleles was only the 'Malling Pandora' cultivar. The identified promising genetic sources will be used in the breeding program for producing of fungal pathogens resistant garden strawberry cultivars.

Key words: *Fragaria × ananassa*, anthracnose, powdery mildew, resistance, DNA markers, polymerase chain reaction

Acknowledgment: the research was carried out under the support of the Ministry of Science of the Russian Federation within the state assignment of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. FUUE-2024-0012).

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

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Khudyakova A. V., Markova M. G. Screening of the strawberry collection for the presence of resistance loci *Rca2* and *08 To-f*. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):546–554. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.546-554>

Received: 25.02.2025

Accepted for publication: 11.06.2025 Published online: 30.06.2025

Земляника (*Fragaria* L.) – род многолетних травянистых растений, насчитывающий около 25 видов различного уровня ploидности (2х, 4х, 6х, 8х, 10х) с базовым числом хромосом $x = 7$ [1]. Культивируемые сорта земляники садовой (*F. × ananassa* Duch.) относятся к алло-октоплоидному виду, который произошел от диких предков из Северной и Южной Америки [2]. В силу своей питательной ценности, вкусовых качеств и высокой адаптивной способности к различным условиям она является одной из наиболее распространенных возделываемых ягодных культур в Среднем Предуралье [3]. Ягоды земляники садовой обладают диетическими и лечебными свойствами, скороспелостью и ранним сроком созревания. Данная культура по созреванию – вторая, после жимолости. Период плодоношения земляники довольно непродолжителен и составляет в условиях данного региона России примерно месяц. Поэтому выведение новых сортов с продолжительным плодоношением и высокими адаптационными способностями к условиям региона выращивания очень актуально [4].

В связи с меняющимися климатическими условиями в Удмуртской Республике возникла необходимость применения современных методов селекции земляники садовой, которые дают возможность на ранних этапах выявлять образцы, обладающие ценными хозяйственными и биологическими признаками. Подобный подход позволяет создавать сорта с желаемым набором полезных признаков, адаптированных к конкретной природно-климатической зоне [5].

Основной задачей современной селекции является выведение сортов земляники садовой с генетическими детерминантами устойчивости к различным патогенам. Приемы классической селекции, основанные на целенаправленном скрещивании и отборе лучших форм, требуют кропотливой и длительной работы, поэтому в последнее время селекционеры стали использовать методы маркер-ориентированной селекции (Marker assisted selection, MAS). Использование диагностических ДНК-маркёров позволяет сократить срок создания сорта, снизить финансовые затраты, экономить на трудовых и энергетических ресурсах [6, 7].

F. × ananassa Duch. – сложный для молекулярно-генетического анализа объект. Высокий

уровень ploидности (8х), совмещение в гено-типе различных базовых геномов, сложные генные взаимодействия и полигенный контроль признаков затрудняют изучение генетической структуры земляники. Устойчивость земляники к возбудителям различных заболеваний в большинстве случаев также контролируется полигенно. В настоящее время к некоторым патогенам (*Colletotrichum acutatum* Simmonds, *Phytophthora fragariae* var. *fragariae* Hickman) выявлены моногенные факторы устойчивости, что позволяет вести эффективный скрининг устойчивых генотипов с использованием молекулярных маркеров [8, 9].

Сорта земляники садовой восприимчивы к многим грибным заболеваниям. К числу распространенных заболеваний земляники, наносящих значительный ущерб насаждениям, относятся антракнозная гниль и мучнистая роса [10].

Фитопатогены рода *Colletotrichum* вызывают антракноз земляники, проявляющийся в виде гнили плодов, ожога цветков, пятнистости листьев, язв на стеблях и черешках, загнивания рожков. Растения земляники поражает ряд видов, наибольшей вредоносностью из которых обладает *C. acutatum* [11, 12]. Устойчивость земляники к антракнозу может контролироваться как полигенно (для *C. acutatum* первой группы патогенности), так и моногенно (для *C. acutatum* второй группы патогенности), в частности доминантным геном *Rca2*. Для детекции данного гена разработаны два молекулярных маркера: STS-*Rca2*_240 и STS-*Rca2*_417. Стоит отметить, что наличие последнего, по мнению некоторых авторов, не коррелирует с устойчивостью [13].

Устойчивость земляники садовой к мучнистой росе (*Sphaerotheca macularis* Mag. f. *fragariae* Jacz.) является сложным признаком и контролируется полигенно. Для выявления устойчивости к мучнистой росе на землянике используют молекулярно-генетический анализ по локусу *08 To-f*, для которого разработаны два диагностических ДНК-маркера: IB535110 и IB533828 [14].

Сорта земляники различаются по устойчивости к *S. macularis* f. *fragariae*, причём устойчивость большинства отечественных и зарубежных сортов недостаточна и требуется проведение защитных мероприятий. Перспективным направлением повышения устойчи-

вости земляники к мучнистой росе является выделение и возделывание сортов, устойчивость которых к *S. macularis* f. *fragariae* обусловлена генетическими детерминантами [15].

Цель исследований – проанализировать сорта земляники садовой отечественной и зарубежной селекции с помощью ДНК-маркеров к локусам резистентности антракнозной гнили (*Rca2*) и мучнистой росы (*08 To-f*).

Научная новизна – проведен молекулярно-генетический скрининг коллекции земляники садовой отдела интродукции и акклиматизации растений Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения

Российской академии наук. Выявлены перспективные генисточки устойчивости к антракнозу и мучнистой росе. Сорта с идентифицированными локусами представляют большой интерес как доноры устойчивости для выведения новых сортов *Fragaria* × *ananassa*.

Материал и методы. В 2024 году на базе отдела интродукции и акклиматизации растений УдмФИЦ УРО РАН создана коллекция генетических источников земляники садовой.

Биологическими объектами исследования служили 32 сортообразца земляники садовой данной коллекции, в том числе 21 образец отечественной и 11 – зарубежной селекции (табл. 1).

Таблица 1 – Анализируемые сорта земляники садовой /
Table 1 – Analyzed strawberry cultivars

<i>Copt / Cultivar</i>	<i>Оригинатор, происхождение / Originator, origin</i>
1	2
Акварель / ‘Akwarel’	ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УРО РАН», Россия / Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation
Алтын / ‘Alty’n’	
Бова / ‘Bova’	
Даренка / ‘Darenka’	
Дуэт / ‘Due’t’	
Виола / ‘Viola’	
Италмас / ‘Italmas’	
Орлец / ‘Orlec’	
Торпеда / ‘Torpeda’	
Форсаж / ‘Forsazh’	
Ярославна / ‘Yaroslavna’	
Соловуха / ‘Solovushka’	ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Россия / Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Russian Federation
Первоклассница / ‘Pervoklassnicza’	ФГБНУ НИИ садоводства Сибири им. М. А. Лисавенко, Россия / Lisavenko Research Institute of Horticulture for Siberia, Russian Federation
Фестивальная / ‘Festival’naya’	Павловская опытная станция ВИР, Россия / Pavlovsk Experimental station VIR, Russian Federation
Фейерверк / ‘Fejerverk’	Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина, Россия / I. V. Michurin Federal Scientific Center, Russian Federation
Царица / ‘Czaricza’	ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», Россия / Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Russian Federation
Гордость Урала / ‘Gordost’ Urala’	Агрофирма «Уральский дачник», Россия / Agricultural Company «Uralsky Dachnik», Russian Federation
Карамель / ‘Karamel’	
Красная пчелка / ‘Krasnaya pchelka’	Агрофирма «Сибирский сад», Россия / Agricultural Company «Siberian Garden», Russian Federation
Настя F1 / ‘Nastya F1’	Агрофирма «Аэлита» Россия / Agricultural Company «Aelita», Russian Federation
Любаша / ‘Lyubasha’	
‘Cabrillo’	Калифорнийский университет в Дэйвисе, США / University of California Davis, USA

Продолжение табл. 1

1	2
‘Kimberly’	Агрофирма Vissers Aardbeiplanten, Нидерланды / Vissers Aardbeiplanten, Netherlands
‘Corona’	Институт селекции плодовоовощных культур, Нидерланды / Institute of Fruit and Vegetable Crop Breeding, Netherlands
‘Salsa’	Агрофирма Fresh Forward, Нидерланды / Fresh Forward, Netherlands
‘Malwina’	Германия / Germany
‘Black Prince’	Италия / Italy
‘Murano’	Италия / Italy
‘Marmion’	Шотландия / Scotland
‘Cisojee’	Франция / France
‘Malling Pandora’	Исследовательская станция Ист-Маллинг, Великобритания / East Malling Research Station, Great Britain
‘Olvia’	Киевский институт садоводства, Украина / The Institute of Horticulture of the National Academy of Ukraine, Ukraine

Выделение ДНК проводили с использованием набора «МагноПрайм® ФИТО» согласно инструкции производителя (ООО «НекстБио», г. Москва). Материалом для выделения служили молодые листья земляники садовой.

Для выявления генов устойчивости земляники садовой использовали сцепленные с ними доминантные диагностические ДНК-маркеры (табл. 2) [16, 17, 18]. Праймеры были синтезированы ЗАО «Синтол» (г. Москва).

Таблица 2 – ДНК-маркеры, используемые для молекулярно-генетического анализа земляники садовой /
 Table 2 – DNA markers used for molecular genetic analysis of strawberry

Признак / Characteristic	Локус / Loci	Маркер / Marker	Последовательность праймеров 5'→3' / Primer sequences 5'→3'	Продукт, пн / Target, bp
Устойчивость к мучнистой росе / Resistance to powdery mildew	08 To-f	IB535110	F acacatatatgaatcgagcca R gctcaagatgctcaatcgaa	500
Устойчивость к антракнозу / Resistance to anthracnose	Rca2	STS-Rca2_240	F gccacgtcactagtcaaatcaa R tcatggacagtggctcage	240
Контроль ПЦР / PCR Control		EMFv020	F caggcgccaacggcgtgctcttgt R cagcgccgccagctcatccctagg	154

Полимеразную цепную реакцию проводили в микропробирках в общем объеме 25 мкл. Использовали готовую 2,5х реакционную смесь для ПЦР, изготовленную ЗАО «Синтол» (г. Москва). Амплификацию проводили по описанным авторами программам на Trident 960, HealForce (Китай). Электрофоретическое разделение продуктов реакции осуществляли в 2%-ном агарозном геле в трисборатном буфере при напряженности электрического поля 6 В/см («ДНК-Технология», Россия). Для оценки молекулярной массы фрагментов ДНК использовали ДНК-маркер 100 bp + 1.5 Kb (ООО «СибЭнзим», г. Новосибирск). Визуализацию полос и документирование данных осуществляли после окрашивания геля бромистым этидием с использо-

ванием системы визуализации гелей MaXidoc G2 (DAIHAN Scientific, Китай).

Результаты и их обсуждение. Молекулярный маркер EMFv020 использовали в дуплексной реакции с STS-Rca2_240 в качестве контроля протекания ПЦР. Данный маркер инициирует фрагменты ДНК размером 154 п.н. у всех представителей *Fragaria* L. [17]. В нашем исследовании получены четкие бэнды соответствующего размера для всех образцов, что говорит о пригодности экстрагированной ДНК для ПЦР-диагностики (рис. 1).

Среди анализируемых сортов земляники садовой диагностический маркер STS-Rca2_240, сцепленный с геном устойчивости к антракнозу *Rca2*, был обнаружен у одного сорта отечест-

венной селекции (Красная пчелка) и одного – зарубежной (Malling Pandora). Пример электрофореграммы представлен на рисунке 1. Поскольку данный маркер является доминантным

и не выявляет аллельное состояние гена, то предположительно ген *Rca2* данных сортов может находиться как в гомозиготном (*Rca2Rca2*), так и в гетерозиготном (*Rca2rca2*) состоянии.

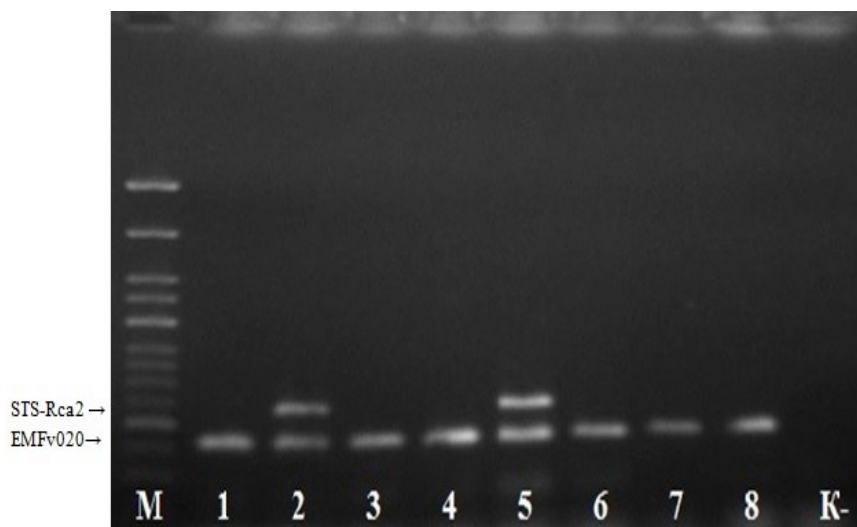


Рис. 1. Электрофоретический профиль маркеров STS-Rca2_240 и EMFv020 генотипов земляники садовой: М – маркер молекулярного веса; 1 – Торпеда; 2 – Красная пчелка; 3 – Ярославна; 4 – Первоклассница; 5 – Malling Pandora; 6 – Фейерверк; 7 – Царица; 8 – Гордость Урала; К – отрицательный контрольный образец /

Fig. 1. Electrophoresis profile of markers STS-Rca2_240 and EMFv020 of strawberry genotypes: М – Molecular weight marker; 1 – ‘Torpeda’; 2 – ‘Krasnaya pchelka’; 3 – ‘Yaroslavna’; 4 – ‘Pervoklassnica’; 5 – ‘Malling Pandora’; 6 – ‘Fejerverk’; 7 – ‘Carica’; 8 – ‘Gordost’ Urala’; К – negative control

Маркер IB535110, сцепленный с локусом резистентности к мучнистой росе *o8 To-f*, выявлен у четырех сортов коллекции: одного сорта

отечественной селекции (Дуэт) и трех – зарубежной (Malwina, Marmion и Malling Pandora) (рис. 2).

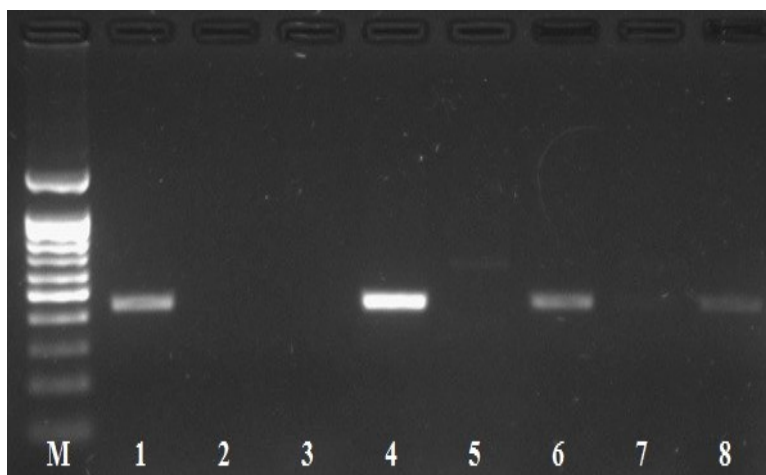


Рис.2. Электрофоретический профиль маркера IB535110 генотипов земляники садовой: М – маркер молекулярного веса; 1 – Дуэт; 2 – Форсаж; 3 – Ярославна; 4 – Malwina; 5 – Царица; 6 – Marmion; 7 – Cisojee; 8 – Malling Pandora /

Fig.2. Electrophoresis profile of markers IB535110 of strawberry genotypes: М – Molecular weight marker; 1 – ‘Duet’; 2 – ‘Forsazh’; 3 – ‘Yaroslavna’; 4 – ‘Malwina’; 5 – ‘Carica’; 6 – ‘Marmion’; 7 – ‘Cisojee’; 8 – ‘Malling Pandora’

Всего среди 32 анализируемых генотипов земляники садовой маркер STS-Rca2_240 выявлен у 6,3 % форм, а IB535110 – у 12,5 %. Следует отметить, что последний чаще детектировал

у сортов зарубежной селекции (27,3 %), чем отечественной (4,8 %). В работе других авторов [12] частота встречаемости маркера STS-Rca2_240 у отечественных сортов была значительно

выше – 18,1 %. В целом при анализе литературы можно сделать вывод о том, что генетические детерминанты устойчивости к мучнистой росе встречаются чаще, чем таковые к антракнозу [15, 19].

Среди всех изученных генотипов оба ДНК-маркера обнаружили только у *Malling Pandora*. Данный сорт, таким образом, является комплексным источником аллелей резистентности *Rca2* и QTL *08 To-f* и перспективен для селекции земляники на устойчивость к грибным патогенам.

Полученные нами результаты согласуются с литературными данными. Так, авторы А. С. Лыжин и И. В. Лукьянчук в своей работе показали, что сорт *Malwina* не поражен мучнистой росой за период с 2018 по 2022 год. Более того, авторы детектировали QTL *08 To-f* с помощью двух диагностических ДНК-маркеров: IB535110 и IB533828 [20]. Эта информация отражена в описании сорта¹.

И. Э. Храбров с соавт. [11] в работе по молекулярному скринингу коллекции земляники ВИР на наличие гена устойчивости к антракнозу выявили данный локус у сорта *Malling Pandora*. Изучение устойчивости к мучнистой росе по этому сорту они не проводили.

Для сортов *Красная пчелка*, *Дуэт* и *Marmion* молекулярно-генетических данных в литературе нами не обнаружено. Из фенологического описания сортов следует, что они характеризуются устойчивостью к ряду заболеваний.

Авторы сорта *Дуэт* – И. И. Богданова, Е. Ю. Невоструева (Свердловская селекционная станция садоводства). Получен от свободного опыления сорта *Талка*. Сорт обладает высокой зимостойкостью, урожайный, с высокой товарностью и транспортабельностью ягод, слабо поражается серой гнилью, пятнистостями листьев, слабо повреждается земляничным клещом [21].

Сорт *Marmion* выведен в Шотландии. Раннеспелый, ягоды красно-малиновые десертного вкуса с земляничным ароматом, очень крупные (до 90 г). Обладает хорошей зимостойкостью в нашем регионе, устойчив к пятнистостям.

Ремонтантный сорт *Красная пчелка* выведен в 2023 г, автором и производителем семян является агрофирма «Сибирский Сад» (г. Новосибирск). Плодоношение в нашем регионе начинается в конце июня и продолжается

до начала заморозков (октябрь). Ягоды массой 10–20 г с отличными вкусовыми качествами. В настоящее время данных по устойчивости к фитопатогенам нет, сорт находится в изучении.

Поиск новых сортов с комплексом генов устойчивости к фитопатогенам является актуальной задачей селекционеров. Так, А. С. Лыжиным и И. В. Лукьянчук на 42 сортах отечественной селекции было показано, что маркер STS-*Rca2*_240 встречался только у 7,1 % коллекции, тогда как маркер IB535110 – у 14,3 % [15]. Этими же авторами при исследовании 20 генотипов земляники (15 сортов земляники отечественной и зарубежной селекции и 5 дикорастущих видов) было детектировано 3 генотипа, несущих ген *Rca2* (15 %), и 8 – QTL *08 To-f* (40 %) [19]. Два маркера содержали сорта *Сударушка* и *Troubadour*.

М. Келдибекова с соавт. (M. Keldibekova et al.) [22] исследовали 29 сортов земляники различного экологического и географического происхождения. Маркер резистентности к антракнозу был обнаружен только у трех видов, что составило 10,3 % изучаемых форм.

В связи с неоспоримой значимостью земляники садовой на мировом рынке постоянно ведутся способы совершенствования её сортамента, что обуславливает постоянный поиск новых и совершенствование существующих способов изучения селекционных ресурсов растений. Продолжается поиск диагностических ДНК-маркеров хозяйственно важных признаков. Так, относительно недавно на 6В хромосоме был картирован ген *FaRca1*, обеспечивающий устойчивость к *C. acutatum* первой группы патогенности [9]. Для него разработаны HRM-маркеры (High Resolution Melting, анализ кривых плавления с высоким разрешением), которые авторы рекомендуют для использования селекционерам.

Заключение. Таким образом, в результате молекулярно-генетического скрининга коллекции сортов земляники садовой отдела интродукции и акклиматизации растений Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук выявлены сорта, содержащие локусы *Rca2* и QTL *08 To-f*. Источниками генов устойчивости к антракнозной гнили являются сорта *Красная пчелка* и *Malling Pandora* (6,3 % коллекции).

¹Автором сорта является немецкий селекционер Питер Стоппел. Появился сорт при скрещивании Софи x Schimmelpfeng x Weihenstefan. Позднеспелый сорт с крупными, сладкими с ароматом лесной земляники ягодами от малинового до почти вишневого цвета массой 40–45. Устойчив к большинству болезней и вредителей, в частности к вертициллезному увяданию и мучнистой росе.

Локус резистентности к мучнистой росе детектировали у Дуэт, Malwina, Marmion и Malling Pandora (12,5 %). Особый интерес для селекции представляет сорт Malling Pandora, в геноме которого совмещены аллели резистентности

к патогенам *C. acutatum* и *S. macularis* f. *fragariae*. Генотипы земляники садовой с идентифицированными локусами резистентности могут быть использованы в селекции как перспективные доноры устойчивости к грибным патогенам.

Список литературы

1. Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. Генетическое разнообразие дикорастущих видов и сортов земляники по гену *FanAAMT* ароматического комплекса плодов. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):72–80. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-72-80> EDN: CPUXNY
2. Whitaker V. M., Knapp S. J., Hardigan M. A., Edger P. P., Slovin J. P., Bassil N. V. et al. A roadmap for research in octoploid strawberry. Horticulture Research. 2020;7:33. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41438-020-0252-1>
3. Марченко Л. А. Методы и способы исследований для решения задач селекции земляники садовой (Аналитический обзор). Вестник КрасГАУ. 2021;(9):59–68. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-9-59-68> EDN: TCVITT
4. Невоструева Е. Ю., Андреева Г. В., Павлова О. А. Совершенствование сортимента земляники для Волго-Вятского региона. Современное садоводство. 2021;(1):28–35. DOI: https://doi.org/10.52415/23126701_2021_0104 EDN: YXKAMR
5. Куликов И. М., Евдокименко С. Н., Тумаева Т. А., Келина А. В., Сазонов Ф. Ф., Андропова Н. В., Подгаецкий М. А. Научное обеспечение ягодоводства России и перспективы его развития. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021;25(4):414–419. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.046> EDN: ASGGAN
6. Дейнеко Е. В. Модификация генома растений методами генетической инженерии: направления и пути развития. Физиология растений. 2024;71(5):487–501. DOI: <https://doi.org/10.31857/s0015330324050017> EDN: MNFGJU
7. Чекушкина Т. Н., Барсукова Е. Н. Применение методов биотехнологии в селекции земляники садовой (обзор). Аграрная Россия. 2022;(12):12–18. DOI: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2022-12-12-18> EDN: OJCSRD
8. Рахмангулов Р. С., Барабанов И. В., Ерастенкова М. В., Иванов А. А., Коваленко Т. М., Межина К. М. и др. Новые направления в генетике, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур в ВИР им. Н. И. Вавилова. Биотехнология и селекция растений. 2022;5(4):65–78. DOI: <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2022-4-o3> EDN: GRLNFU
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;55(5):693–698. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14807-20>
10. Цветкова Ю. В., Кузнецова А. А. Выявление антракноза земляники и методы диагностики возбудителей заболевания. Микология и фитопатология. 2022;56(2):140–152. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0026364822020118> EDN: QBZNGF
11. Храбров И. Э., Антонова О. Ю., Шаповалов М. И., Семёнова 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: <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-4-o3> EDN: LVGPMW
12. Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. Аллельное разнообразие локусов устойчивости к патогенам у сортов земляники отечественной селекции и перспективы совершенствования сортимента. Таврический вестник аграрной науки. 2024;(4(40)):147–157. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14184676> EDN: XYNNUY
13. Храбров И. Э., Антонова О. Ю., Шаповалов М. И., Семёнова Л. Г. Устойчивость земляники к основным грибным фитопатогенам: R-гены и их ДНК-маркеры. Биотехнология и селекция растений. 2019;2(3):30–40. DOI: <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2019-3-o3> EDN: ZAKLPL
14. Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. Молекулярный скрининг образцов земляники генетической коллекции «ФНЦ им. И. В. Мичурина» по локусу *08 To-f* устойчивости к мучнистой росе. Таврический вестник аграрной науки. 2024;(1(37)):103–111. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10926231> EDN: IGATQH
15. Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. Молекулярный скрининг аллелей резистентности *08 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: <https://doi.org/10.18699/letvjgb-2024-10-12> EDN: BHUUFJ
16. 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 there of U.S.: Patent No. 10,724,093. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. 2020.
17. 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. DOI: <https://doi.org/10.1139/g03-142>

18. 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-005-0008-1>
19. 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. 2023;(4):12–22. DOI: https://doi.org/10.52415/23126701_2023_0402 EDN: OUQZDW
20. 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: <https://doi.org/10.18699/vjgb-24-19> EDN: BBAAVI
21. Невоструева Е. Ю., Багмет Л. В. Номенклатурные стандарты сортов земляники селекции свердловской селекционной станции садоводства. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):846–854. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.846-854> EDN: JAJNJD
22. Keldibekova M., Bezlepkina E., Zubkova M., Dolzhikova M. DNA-screening of strawberry cultivars and hybrids (*Fragaria ananassa* Duch.) for resistance to fungal diseases. *Pakistan Journal of Botany*. 2024;56(2):29. DOI: [https://doi.org/10.30848/PJB2024-2\(29\)](https://doi.org/10.30848/PJB2024-2(29)) EDN: PTJQUY

References

1. Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V. Genetic diversity in wild species and cultivars of strawberry for the *FanAAMT* gene controlling fruit flavor volatiles. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2021;182(2):72–80. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-72-80>
2. Whitaker V. M., Knapp S. J., Hardigan M. A., Edger P. P., Slovin J. P., Bassil N. V. et al. A roadmap for research in octoploid strawberry. *Horticulture Research*. 2020;7:33. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41438-020-0252-1>
3. Marchenko L. A. Research methods and ways in strawberry breeding problems solution (Analytical review). *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2021;(9):59–68. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-9-59-68>
4. Nevostrueva E. Yu., Andreeva G. V., Pavlova O. A. Improving the assortment of strawberries for the Volga-Vyatka region. *Sovremennoe sadovodstvo* = Contemporary horticulture. 2021;(1):28–35. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52415/23126701_2021_0104
5. Kulikov I. M., Evdokimenko S. N., Tumaeva T. A., Kelina A. V., Sazonov F. F., Andronova N. V., Podgaetskiy M. A. Scientific support of small fruit growing in Russia and prospects for its development. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021;25(4):414–419. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.046>
6. Deyneko E. V. Modification of the plant genome by genetic engineering methods: directions and ways of development. *Fiziologiya rasteniy* = Russian Journal of Plant Physiology. 2024;71(5):487–501. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/s0015330324050017>
7. Chekushkina T. N., Barsukova E. N. Biotechnological methods in the selection of *Fragaria* × *Ananassa* Duch. (review). *Agrarnaya Rossiya* = Agrarian Russia. 2022;(12):12–18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2022-12-12-18>
8. Rakhmangulov R. S., Barabanov I. V., Erastenkova M. V., Ivanov A. A., Kovalenko T. V., Mezhdina K. M. et al. The new directions in genetics, breeding and biotechnology of ornamental and berry crops in the N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR). *Biotehnologiya i selektsiya rasteniy* = Plant Biotechnology and Breeding. 2022;5(4):65–78. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2022-4-o3>
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;55(5):693–698. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14807-20>
10. Tsvetkova Yu. V., Kuznetsova A. A. Identification of strawberry anthracnose and methods for diagnosing causative agents of the disease. *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and Phytopathology. 2022;56(2):140–152. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0026364822020118>
11. 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*. *Biotehnologiya i selektsiya rasteniy* = Plant Biotechnology and Breeding. 2021;4(4):15–24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-4-o3>
12. Lyzhin A. S., Lukyanchuk I. V. Allelic diversity of pathogen resistance loci in russian strawberry varieties and prospects for improving the assortment. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2024;(4(40)):147–157. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14184676>
13. Khrabrov I. E., Antonova O. Yu., Shapovalov M. I., Semenova L. G. Strawberry resistance to the major fungal phytopathogens: R-genes and their DNA markers. *Biotehnologiya i selektsiya rasteniy* = Plant Biotechnology and Breeding. 2019;2(3):30–40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2019-3-o3>

14. Lyzhin A. S., Lukyanchuk I. V. Molecular screening of strawberry accessions from the “I.V. Michurin FSC” genetic collection by *08 To-f* powdery mildew resistance locus. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2024;(1(37)):103–111. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10926231>
15. Lyzhin A. S., Lukyanchuk I. V. Molecular screening of resistance alleles *08 To-f*, *Rca2* and *Rpfl* in strawberry hybrid progeny for identify forms with complex resistance to fungal pathogens. *Pis'ma v Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Letters to the Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2024;10(2):105–110. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/letvrgb-2024-10-12>
16. 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 there of U.S.: Patent No. 10,724,093. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. 2020.
17. 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. DOI: <https://doi.org/10.1139/g03-142>
18. Lerceteanu-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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-005-0008-1>
19. Lyzhin A. S., Lukyanchuk I. V. Ethe use of DNA markers in strawberry breeding for pathogen resistance. *Sovremennoe sadovodstvo* = Cotemporary horticulture. 2023;(4):12–22. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52415/23126701_2023_0402
20. Lyzhin A. S., Lukyanchuk I. V. Study of a genetic collection of strawberry (*Fragaria* L.) for resistance to powdery mildew. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breedin. 2024;28(2):166–174. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/vjgb-24-19>
21. Nevostrueva E. Yu., Bagmet L. V. Nomenclatural standards of strawberry cultivars bred by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):846–854. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.846-854>
22. Keldibekova M., Bezlepina E., Zubkova M., Dolzhikova M. DNA-screening of strawberry cultivars and hybrids (*Fragaria ananassa* Duch.) for resistance to fungal diseases. *Pakistan Journal of Botany*. 2024;56(2):29. DOI: [https://doi.org/10.30848/PJB2024-2\(29\)](https://doi.org/10.30848/PJB2024-2(29))

Сведения об авторах

Худякова Анна Валерьевна, научный сотрудник, ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Т. Барамзиной, 34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская федерация, 426067, e-mail: udnc@udman.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0125-9335>

✉ **Маркова Марина Геннадьевна**, научный сотрудник, ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Т. Барамзиной, 34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская федерация, 426067, e-mail: udnc@udman.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9427-6766>, e-mail: markovamg@udman.ru

Information about the authors

Anna V. Khudyakova, researcher, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, st. T. Baramzinoj, 34, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, e-mail: udnc@udman.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0125-9335>

✉ **Marina G. Markova**, researcher, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, st. T. Baramzinoj, 34, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, e-mail: udnc@udman.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9427-6766>, e-mail: markovamg@udman.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author