



ISSN 1727-1320 (Print),  
ISSN 2308-6459 (Online)

# В Е С Т Н И К ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

---

## PLANT PROTECTION NEWS

2026    ТОМ    109    ВЫПУСК    1  
          VOLUME            ISSUE



Санкт-Петербург  
St. Petersburg, Russia

## ГЕНОТИПИРОВАНИЕ СОРТОВ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ ПО ЛОКУСАМ УСТОЙЧИВОСТИ К АНТРАКНОЗУ, ВЫЗЫВАЕМОМУ *COLLETOTRICHUM* SPP.

А.С. Лыжин\*, И.В. Лукьянчук

Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, Мичуринск

\*ответственный за переписку, e-mail: [Ranenburzhetc@yandex.ru](mailto:Ranenburzhetc@yandex.ru)

Проведено молекулярное маркирование 54 сортов земляники садовой *Fragaria* × *ananassa* по локусам устойчивости к *Colletotrichum acutatum* (*FaRca1*, *Rca2*) и *C. gloeosporioides* (*FaRCg1*). Хотя бы один из изучаемых локусов резистентности присутствует у 74% изученных сортов. Аллели резистентности к *C. acutatum* 1-й группы патогенности (*FaRca1*) и 2-й группы патогенности (*Rca2*) выявлены у 40% и 12% проанализированных сортов, соответственно. Все идентифицированные носители аллелей *FaRca1* и *Rca2* имеют гетерозиготный генотип. Лocus *FaRCg1* устойчивости к *C. gloeosporioides* присутствует у 40% образцов. Отмечено статистически значимое преобладание локуса *FaRCg1* у отечественных сортов земляники. Выявленные носители аллеля *FaRCg1* могут иметь гомозиготный или гетерозиготный генотип. Два локуса из трёх в трёх вариантах комбинации аллелей резистентности (*FaRca1*+*FaRCg1*, *FaRca1*+*Rca2*, *FaRCg1*+*Rca2*) выявлены у 16% образцов, причём в большинстве случаев (78%) это комбинация локусов *FaRca1* и *FaRCg1*. Среди образцов отечественной селекции данная аллельная комбинация идентифицирована у сортов Зенит, Незнакомка, Урожайная ЦГЛ, Флора; среди зарубежных образцов – у сортов Korona, Salsa, Vicoda. Комбинациями *FaRca1*+*Rca2* и *FaRCg1*+*Rca2* характеризуются сорта Arçica и Сударушка, соответственно. Три аллели резистентности выявлены у сорта Боровицкая (1.7% от общего количества образцов). Указанные сорта земляники представляются перспективными комплексными генетическими источниками аллелей резистентности к антракнозу вызываемому *C. acutatum* и *C. gloeosporioides*.

**Ключевые слова:** *Fragaria* × *ananassa*, сорт, устойчивость, *Colletotrichum acutatum*, *Colletotrichum gloeosporioides*, молекулярные маркеры, маркер-опосредованная селекция

Поступила в редакцию: 12.11.2025

Принята к печати: 30.03.2026

### Введение

К числу заболеваний, вредящих насаждениям земляники во всех регионах возделывания, относится антракноз, возбудителем которого служат паразитические грибы рода *Colletotrichum* spp. (Smith, 2008, Nam et al., 2023).

Фитопатогены рода *Colletotrichum* распространены по всему миру и поражают широкий круг древесных и травянистых растений (Zhang et al., 2020, Jian et al., 2021). Землянику садовую поражают такие виды как: *C. acutatum*, *C. aenigma*, *C. boninense*, *C. changpingense*, *C. fiorinae*, *C. fragariae*, *C. fructicola*, *C. gloeosporioides*, *C. godetiae*, *C. miaoliense*, *C. nymphaeae*, *C. karstii*, *C. salicis*, *C. simmondsii*, *C. siamense*, *C. theobromicola* (Jian et al., 2021). Среди них экономически значимые *C. acutatum*, *C. fragariae* и *C. gloeosporioides* (Chen et al., 2020). Причём по современным представлениям *C. acutatum* и *C. gloeosporioides* представляют собой видоые комплексы и включают в себя следующие виды: *C. acutatum* – *C. acutatum* s.s., *C. fiorinae*, *C. godetiae*, *C. miaoliense*, *C. nymphaeae*, *C. salicis* и *C. simmondsii*; *C. gloeosporioides* – *C. aenigma*, *C. alienum*, *C. changpingense*, *C. fructicola*, *C. gloeosporioides* s.s., *C. kahawae*, *C. siamense*, *C. viniferum* и *C. theobromicola* (Ji et al., 2022). В умеренном климатическом поясе (в том числе и в России) основным возбудителем антракноза земляники садовой выступает видовой комплекс *C. acutatum* (Damm et al., 2012). По некоторым оценкам (Rose, Damm, 2024, Morkeliūnė et al., 2025), до 80% посадочного материала земляники садовой заражено

антракнозом в латентной форме, а распространение патогена в плодоносящих насаждениях способно привести к потере 50% товарного урожая. Основным способом борьбы с антракнозом в насаждениях земляники до настоящего времени остаётся использование химических фунгицидов (Santos García de Paredes, Muñoz, 2002, Zhang et al., 2020), однако их применение привело к появлению резистентных изолятов патогена (Han et al., 2009, Smith, 2013, Forcelini et al., 2016), поэтому всё большее внимание отводится биологическим, агротехническим и селекционно-генетическим методам защиты (Aljawasim et al., 2023).

Устойчивость октоплоидной земляники к антракнозу контролируется специфическими (Denoyes-Rothan et al., 2005, Anciro et al., 2018, Salinas et al., 2019) и неспецифическими (MacKenzie et al., 2006) генетическими факторами, причём вследствие высокого уровня плоидности наблюдаются сложные генные взаимодействия, и генетический контроль устойчивости у разных сортов может отличаться. Вместе с тем, идентифицированы несколько крупных локусов, вклад которых в реализацию фенотипического проявления устойчивости наиболее существенен. В частности, устойчивость к комплексу *C. acutatum* во многом определяется двумя локусами: *FaRca1* и *Rca2*, из которых первый детерминирует устойчивость к изолятам первой группы патогенности (не менее чем 50% фенотипической изменчивости по признаку устойчивости) (Salinas et al., 2019), а второй – к изолятам второй группы

патогенности (Lerceteau-Kohler et al., 2005). По результатам анализа мультилокусной последовательности, изоляты первой группы патогенности идентифицированы как *C. nymphaeae*, а изоляты второй – как *C. simmondsii* (Salinas et al., 2019). В этой связи можно говорить, что в узком смысле *FaRca1* определяет устойчивость к *C. nymphaeae*, а *Rca2* – к *C. simmondsii*, тогда как влияние указанных генетических факторов на устойчивость земляники к другим видам комплекса *C. acutatum* требует дальнейшего изучения. *FaRCg1* – крупный локус устойчивости к *C. gloeosporioides*, который детерминирует от 17 до 30% фенотипической вариабельности. Он был идентифицирован с использованием изолята *C. gloeosporioides* s.s. 97-15A (Anciro et al., 2018). Сведений о его эффективности

относительно других видов комплекса *C. gloeosporioides* нет.

Для указанных локусов разработаны диагностические ДНК-маркеры, что позволяет их использовать в программах маркер-опосредованной селекции: ген *Rca2* – маркеры STS-Rca2\_240 и STS-Rca2\_417 (Lerceteau-Kohler et al., 2005) для детекции методом классической ПЦР; *FaRca1* – ID3F/ID1R (UFCa1HRM02) (Salinas et al., 2020, Jang et al., 2024), *FaRCg1* – TIFY-1A (UFCg1HRM01), RLK-1A (Chandra et al., 2021, Jang et al., 2024) – для детекции методом анализа кривых плавления с высоким разрешением.

Цель исследования – молекулярное маркирование сортов земляники садовой по локусам устойчивости к *Colletotrichum acutatum* (*FaRca1*, *Rca2*) и *C. gloeosporioides* (*FaRCg1*).

### Материалы и методы

Биологическими объектами исследований служили сорта земляники садовой, полученные в различных научно-исследовательских и селекционных организациях. Среди них 28 российских образцов (Альфа, Берегиня, Боровицкая, Былинная, Витязь, Гириянда, Елизавета 2, Зенит, Кокинская заря, Крымчанка 87, Кубата, Ласточка, Незнакомка, Памяти Зубова, Привлекательная, Рубиновый каскад, Славутич, Соловушка, Студенческая, Торпеда, Троицкая, Урожайная ЦГЛ, Фейерверк, Флора, Царица, Царскосельская, Юниол, Яркая); 23 европейских образца (Amy, Antea, Aprica, Arosa, Asia, Brilla, Clergy, Cory, Flamenso, Florence, Kimberly, Malwina, Murano, Ostara, Quicky, Rubino CIV, Rumba, Salsa, Sonata, Verona, Vicoda, Vima Tarda, Vima Zanta) и 3 американских образца (Cabrillo, Portola, Selva). В качестве эталонных образцов для контролем наличия целевых аллелей резистентности использованы сорта Когона (*FaRca1*) (Лыжин, Лукьянчук, 2024а; Zurn et al., 2022), Сударушка (*Rca2*) (Лыжин и др., 2019) и Symphony (*FaRCg1*) (Zurn et al., 2022).

Экстракцию геномной ДНК проводили из молодых листьев с использованием модифицированного СТАВ метода (Lukuanchuk et al., 2018). Концентрацию и качество экстрагированной ДНК определяли спектрофотометрическим методом с использованием малообъемного спектрофотометра Ez Drop 1000 (Blue-Ray Biotech, Тайвань).

Для идентификации локусов устойчивости земляники к антракнозу использовали аллель-специфичные маркеры STS-Rca2\_240, ID3F/ID1R и RLK-1A (табл. 1).

Ампликоны диагностического ДНК-маркера STS-Rca2\_240 детектировали методом классической ПЦР. Полимеразную цепную реакцию проводили в термоциклере T100 (Bio-Rad, США) по программе, описанной ранее (Лыжин и др., 2019). Разделение продуктов амплификации проводили методом электрофореза в агарозном геле. Для определения размера ампликонов использовали маркер молекулярного веса Step 100 (Биолабмикс, Россия). Целевые фрагменты маркеров ID3F/ID1R и RLK-1A выявляли методом анализа кривых плавления с высоким разрешением (HRM-PCR). Анализ проводили с использованием амплификатора C1000 с системой детекции в реальном времени CFX96 Real-Time System (Bio-Rad, США). Условия амплификации для маркера ID3F/ID1R подобраны ранее (Лыжин, Лукьянчук, 2024а). ПЦР с праймерами RLK-1A проводили по следующей программе: начальная денатурация: 95 °С – 5 мин; далее 50 циклов: 95 °С – 20 с, 65 °С – 20 с, 72 °С – 20 с; далее 95 °С – 1 мин; 40 °С – 1 мин. Анализ кривых плавления: при температуре от 65 °С до 95 °С (шаг 0.5 °С). В качестве красителя для HRM-PCR использовался Eva488 (Lumiprobe, Россия). Графический анализ кривых плавления продуктов амплификации выполняли в программе CFX Manager TM (Bio-Rad, США).

**Таблица 1.** Характеристика ДНК-маркеров, используемых для анализа

Признак	Локус	ДНК-маркер	Последовательность праймеров 5'-3'	Источник
Устойчивость к <i>C. acutatum</i>	<i>Rca2</i>	STS-Rca2_240	For gccacgtcactagtcaaatca Rev tcattggacagtggctcagc	Lerceteau-Kohler et al., 2005
	<i>FaRca1</i>	ID3F/ID1R	For tgttctgcgagccctct Rev gtctgggttctctaaaaggagagT	Salinas et al., 2020
Устойчивость к <i>C. gloeosporioides</i>	<i>FaRCg1</i>	RLK-1A	For tgctctttctcgtcgcatt Rev ccaccaagaagaatctcgttca	Chandra et al., 2021

**Table 1.** Characteristics of DNA markers used for analysis

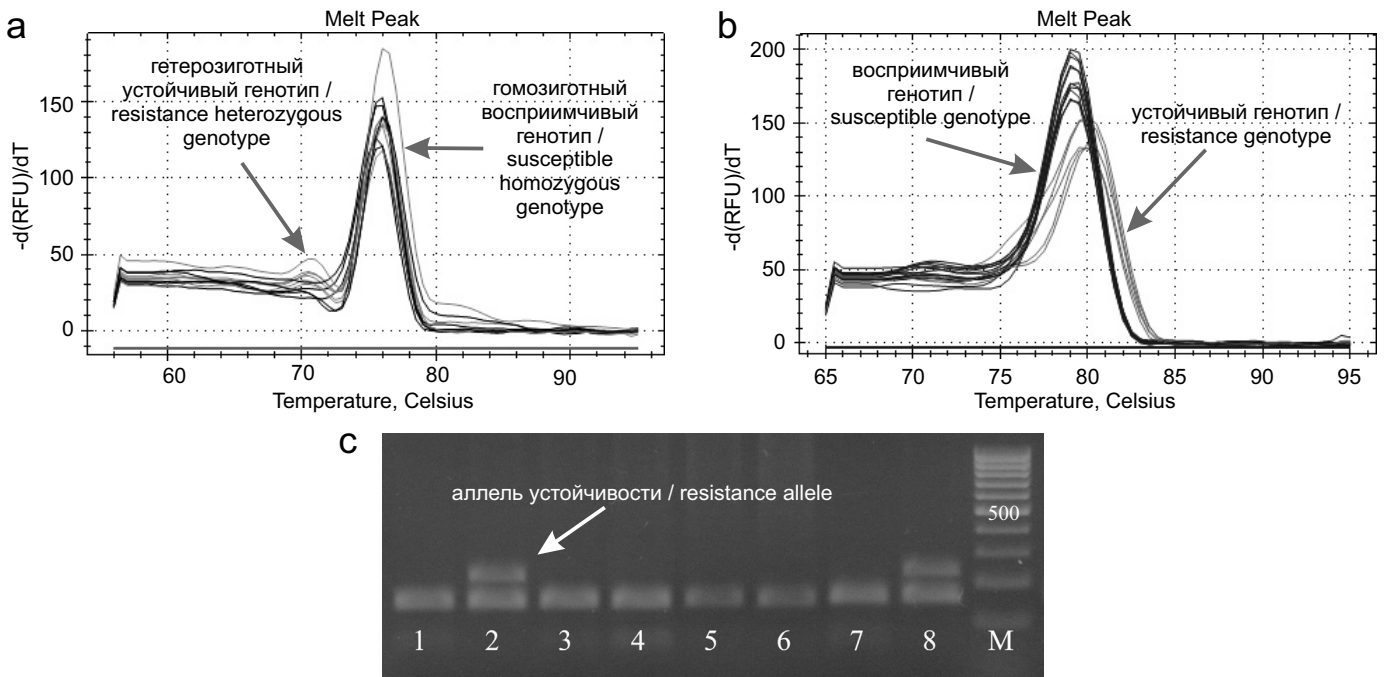
Trait	Locus	DNA marker	Primer sequence 5'-3'	References
Resistance to <i>C. acutatum</i>	<i>Rca2</i>	STS-Rca2_240	For gccacgtcactagtcaaatca Rev tcattggacagtggctcagc	Lerceteau-Kohler et al., 2005
	<i>FaRca1</i>	ID3F/ID1R	For tgttctgcgagccctct Rev gtctgggttctctaaaaggagagT	Salinas et al., 2020
Resistance to <i>C. gloeosporioides</i>	<i>FaRCg1</i>	RLK-1A	For tgctctttctcgtcgcatt Rev ccaccaagaagaatctcgttca	Chandra et al., 2021

**Результаты**

В результате проведённых исследований получены типичные для целевых аллелей генов, без неспецифических и фоновых продуктов амплификации, электрофоретические спектры (маркер STS-Rca2\_240) и кривые плавления (маркеры ID3F/ID1R и RLK-1A), представленные на рис. 1.

Аллели резистентности к *C. acutatum* 1-й группы патогенности (*FaRca1*) и 2-й группы патогенности (*Rca2*) выявлены у 40.3% и 12.3% проанализированных сортов, локус *FaRCg1* устойчивости к *C. gloeosporioides* – у 40.3% образцов (табл. 2).

Частоты встречаемости анализируемых локусов резистентности к антракнозу выборках сортов отечественной и зарубежной селекции составили: 37.9% и 42.9% – *FaRca1*, 6.9% и 17.9% – *Rca2*, 58.6% и 21.4% – *FaRCg1*. При этом если для локусов *FaRca1* и *Rca2* различия между выборками статистически недостоверны ( $t_{\text{факт}} = 0.364$  и  $1.237 \leq t_{\text{ст}} = 1.96$  при  $p \leq 0.05$ ), то локус *FaRCg1* преобладал у отечественных сортов земляники ( $t_{\text{факт}} = 3.144 \geq t_{\text{ст}} = 1.96$  при  $p \leq 0.05$ ).



**Рисунок 1.** а – кривые плавления HRM-маркера ID3F/ID1R (локус *FaRca1*);  
 б – кривые плавления HRM-маркера RLK-1A (локус *FaRCg1*);  
 с – электрофоретический профиль маркера STS-Rca2\_240 (локус *Rca2*)

**Figure 1.** а – melt curves of the HRM marker ID3F/ID1R (*FaRca1* locus);  
 б – melt curves of the HRM marker RLK-1A (*FaRCg1* locus);  
 с – electrophoretic profile of the marker STS-Rca2\_240 (*Rca2* locus)

**Таблица 2.** Сорта земляники с идентифицированными аллелями устойчивости к антракнозу

<i>FaRca1</i>	<i>Rca2</i>	<i>FaRCg1</i>
Боровицкая, Гирлянда, Елизавета 2, Зенит, Кокинская заря, Незнакомка, Рубиновый каскад, Троицкая, Урожайная ЦГЛ, Флора, Яркая, Aprica, Arosa, Asia, Clery, Kimberly, Korona (контроль), Murano, Ostara, Rumba, Salsa, Verona, Vicoda	Боровицкая, Сударушка (контроль), Aprica, Florence, Malwina, Portola, Selva	Альфа, Берегиня, Боровицкая, Витязь, Зенит, Кубата, Незнакомка, Памяти Зубова, Привлекательная, Славутич, Соловушка, Студенческая, Сударушка, Урожайная ЦГЛ, Флора, Царица, Царскосельская, Аму, Korona, Salsa, Symphony (контроль), Vicoda, Vima Zanta

**Table 2.** Strawberry varieties with identified anthracnose resistance alleles

<i>FaRca1</i>	<i>Rca2</i>	<i>FaRCg1</i>
Borovitskaya, Girlyanda, Yelizaveta 2, Zenit, Kokinskaya zarya, Neznakomka, Rubinovyy kaskad, Troitskaya, Urozhaynaya TSGL, Flora, Yarkaya, Aprica, Arosa, Asia, Clery, Kimberly, Korona (control), Murano, Ostara, Rumba, Salsa, Verona, Vicoda	Borovitskaya, Sudarushka (control), Aprica, Florence, Malwina, Portola, Selva	Alfa, Bereginya, Borovitskaya, Vityaz, Zenit, Kubata, Neznakomka, Pamyati Zubova, Privlekatelnaya, Slavutich, Solovushka, Studencheskaya, Sudarushka, Urozhaynaya TSGL, Flora, Tsaritsa, Tsarskoselskaya, Amy, Korona, Salsa, Symphony (control), Vicoda, Vima Zanta

## Обсуждение

Маркирование локусов резистентности к патогенам и направленное создание на этой основе устойчивых к вредным организмам форм растений (маркер-опосредованная селекция) – важное направление совершенствования сортиamenta сельскохозяйственных культур. Устойчивость земляники к возбудителям различных заболеваний в большинстве случаев контролируется полигенно, однако к настоящему времени выявлены и маркированы некоторые гены и локусы количественных признаков, позволяющие использовать их в селекционной работе.

Маркер ID3F/ID1R разработан относительно недавно, поэтому широкого распространения в селекционной практике пока не получил. Исследования в основном описывают маркирование локуса *FaRcal* в геноплазме зарубежных сортов земляники (Zurn et al., 2022, Jang et al., 2024). Первое генотипирование сортов земляники отечественной селекции по локусу *FaRcal* проведено нами в 2024 году. Были оптимизированы состав ПЦР-смеси и условия амплификации (Лыжин, Лукьянчук, 2024а). Настоящее исследование продолжает начатую работу. В частности подтверждено наличие аллеля *FaRcal* у сортов отечественной селекции Боровицкая, Зенит, Кокинская заря, Незнакомка, Троицкая, Урожайная ЦГЛ, Флора, Яркая. Также идентифицированы новые источники локуса *FaRcal* – сорта Гирлянда, Елизавета 2 и Рубиновый каскад. Все выявленные носители аллеля *FaRcal* имеют гетерозиготный генотип.

Маркер STS-Rca2\_240 (ген *Rca2*) валидирован на генотипах земляники различного эколого-географического происхождения и широко активно применяется для изучения генетических коллекций и скрининга селекционного материала (Lyzhin, Lukyanchuk, 2021a, Sturzeanu et al., 2021, Тарасова и др., 2024, Keldibekova et al., 2024, Лыжин, Лукьянчук, 2025). В представленной выборке наличие маркерного фрагмента аллеля резистентности *Rca2* у сортов Боровицкая, Argica, Florence, Malwina, Portola, Selva подтверждается литературными данными молекулярного скрининга (Келдибекова, Зубкова, 2023, Лыжин, Лукьянчук, 2025, Худякова, Маркова, 2025), а также анализом гибридного потомства (Лыжин, Лукьянчук, 2023, 2024b). Кроме того, необходимо отметить, что при отсутствии статистически достоверных различий, ген *Rca2* относительно более широко распространён в геноплазме сортов зарубежной селекции и ряд отечественных сортов с аллелем *Rca2*, в частности сорт Сударушка, получен с использованием зарубежных родительских форм. Хотя маркер STS-Rca2\_240 не позволяет идентифицировать аллельное состояние гена *Rca2*, проведённые ранее исследования (Лыжин и др., 2019, Lyzhin, Lukyanchuk, 2021b, Лыжин, Лукьянчук, 2024b), показали, что сорта Боровицкая, Сударушка, Argica, Florence и Malwina характеризуются гетерозиготным сочетанием аллелей.

Маркер RLK-1A (локус *FaRCg1*) широкого распространения в селекционно-генетических исследованиях также пока не получил. В литературе представлены результаты молекулярного скрининга сортов и форм земляники американской национальной коллекции зародышевой плазмы (NCGR) (Zurn et al., 2022), а также данные многолетней работы в области маркер-опосредованной селекции в

Университете Флориды (США) (Jang et al., 2024). В данных исследованиях изучались зарубежные сорта земляники, и частоты встречаемости локуса *FaRCg1* составили 14.5% и 27.8% соответственно, что сопоставимо с полученными нами результатами (21.4%). Отечественные сорта земляники по локусу *FaRCg1* до настоящего времени не генотипировались, поэтому объяснить преобладание локуса *FaRCg1* у отечественных сортов можно как генетическими отличиями, так и субъективными особенностями анализируемой выборки. Вместе с тем необходимо отметить, что у ряда отечественных сортов с идентифицированным аллелем *FaRCg1* полученных с привлечением геноплазмы зарубежных сортов (Берегиня (Соловушка × Induka), Боровицкая (Надежда × Red Gauntlet), Кубата (Кубенская × Holiday), Царскосельская (Павловчанка × Holiday)), зарубежные родительские формы – сорта Induka, Red Gauntlet, Holiday согласно данным молекулярного скрининга (Zurn et al., 2022) по локусу *FaRCg1* имеют восприимчивый генотип и не могут быть источником аллеля резистентности. Отдельно следует упомянуть сорта Зенит, Урожайная ЦГЛ, Флора и Царица, полученные в комбинациях скрещивания зарубежных сортов Senga Sengana × Redcoat (Зенит, Урожайная ЦГЛ, Флора) и Venta × Red Gauntlet (Царица) у которых также не выявлен аллель *FaRCg1* (Zurn et al., 2022). Полученные результаты подразумевают существование генетически различающихся форм одних и тех же сортов в разных генетических коллекциях. Подобные различия отмечены также другими исследователями (Njuguna, 2010, Zurn et al., 2022). Выявленные носители аллеля *FaRCg1* могут иметь гомозиготный или гетерозиготный генотип, для уточнения в дальнейшем планируется проведение анализирующих скрещиваний.

Так как антракноз земляники, вызывают несколько фитопатогенов рода *Colletotrichum*, то для достижения стабильной долговременной устойчивости желательное объединение в одном генотипе различных генетических детерминант. Локусы *FaRcal* и *FaRCg1* расположены на LG 6B (55-56 cM и 69-72 cM соответственно) (Anciro et al., 2018, Salinas et al., 2019), *Rca2* – на LG 7B (Lerceteau-Kohler et al., 2005), поэтому возможно их объединение в одном генотипе методами классической и маркер-опосредованной селекции. Хотя бы один из изучаемых локусов резистентности присутствует у 73.7% анализируемых сортов. Два локуса из трёх в трёх вариантах комбинации аллелей резистентности (*FaRcal*+*FaRCg1*, *FaRcal*+*Rca2*, *FaRCg1*+*Rca2*) выявлены у 15.8% образцов, причём в большинстве случаев (77.8%) – это комбинация локусов *FaRcal* и *FaRCg1*. Среди образцов отечественной селекции данная аллельная комбинация идентифицирована у сортов Зенит, Незнакомка, Урожайная ЦГЛ, Флора; среди зарубежных образцов – у сортов Korona, Salsa, Vicoda. Комбинациями *FaRcal*+*Rca2* и *FaRCg1*+*Rca2* характеризуются сорта Argica и Сударушка соответственно. Три аллеля резистентности выявлены у сорта Боровицкая (1.7% от общего количества образцов). Указанные сорта земляники являются перспективными комплексными генетическими источниками аллелей резистентности к антракнозу вызываемому *C. acutatum* и *C. gloeosporioides*.

## Благодарности

Исследование проведено в рамках Государственного задания «ФНЦ имени И.В. Мичурина» по проекту FGSU-2025-0021 «Разработка технологии генотипирования и молекулярной идентификации локусов, детерминирующих важнейшие агробиологические признаки. Создание системы паспортизации плодовых и ягодных культур».

## Библиографический список (References)

- Келдибекова МА, Зубкова МИ (2023) Анализ сортов земляники садовой (*Fragaria ananassa* Duch.) по генам *Rca2* и *Rpfl* с применением ДНК-маркеров. *Таврический вестник аграрной науки* 3(35):103–109. <http://doi.org/10.5281/zenodo.10135427>
- Лыжин АС, Лукьянчук ИВ, Жбанова ЕВ (2019) Полиморфизм сортов земляники (*Fragaria × ananassa*) по гену устойчивости к антракнозу *Rca2*. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции* 180(1):73–77. <http://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-1-73-77>
- Лыжин АС, Лукьянчук ИВ (2023) Наследование устойчивости к антракнозу, детерминируемой доминантным геном *Rca2*, в гибридном потомстве земляники садовой. *Таврический вестник аграрной науки* 3(35):137–144. <http://doi.org/10.5281/zenodo.10141405>
- Лыжин АС, Лукьянчук ИВ (2024а) Анализ полиморфизма локуса *FaRca1* для выявления устойчивых к *Colletotrichum acutatum* генотипов земляники. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции* 185(4):150–158. <http://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-4-150-158>
- Лыжин АС, Лукьянчук ИВ (2024б) Маркер-опосредованный анализ гибридных семян земляники по устойчивости к антракнозу (ген *Rca2*). *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада* 150:58–62. <http://doi.org/10.25684/0513-1634-2024-150-58-62>
- Лыжин АС, Лукьянчук ИВ (2025) Молекулярный скрининг аллеля устойчивости к антракнозу *Rca2* у сортов и селекционных форм земляники. *Вестник Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук* 63(1):35–44. <http://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-1-35-44>
- Тарасова ЕВ, Капитова ИА, Андропова НВ (2024) Идентификация аллельного состояния гена *Rca2* устойчивости к антракнозу и определение генетического сходства у генотипов земляники садовой. *Садоводство и виноградарство* 1:5–11. <http://doi.org/10.31676/0235-2591-2024-1-5-11>
- Худякова АВ, Маркова МГ (2025) Скрининг коллекции земляники садовой на наличие локусов резистентности *Rca2* и *08 To-f*. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока* 26(3):546–554. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.546-554>
- Aljawasim BD, Samtani JB, Rahman M (2023) New insights in the detection and management of anthracnose diseases in strawberries. *Plants* 12(21):3704. <https://doi.org/10.3390/plants12213704>
- Anciro A, Mangandi J, Verma S, Peres N et al (2018) *FaRCg1*: a quantitative trait locus conferring resistance to *Colletotrichum* crown rot caused by *Colletotrichum gloeosporioides* in octoploid strawberry. *Theor Appl Gen* 131(10):2167–2177. <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3145-z>
- Chen XY, Dai DJ, Zhao SF, Shen Y et al (2020) Genetic diversity of *Colletotrichum* spp. causing strawberry anthracnose in Zhejiang, China. *Plant Dis* 104(5):1351–1357. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-19-2026-RE>
- Chandra S, Oh Y, Han H, Salinas N et al (2021) Comparative transcriptome analysis to identify candidate genes for *FaRCg1* conferring resistance against *Colletotrichum gloeosporioides* in cultivated strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Front Gen* 12:730444. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.730444>
- Damm U, Cannon PF, Woudenberg JHC, Crous PW (2012) The *Colletotrichum acutatum* species complex. *Stud Myc* 73:37–113. <https://doi.org/10.3114/sim0010>
- Denoyes-Rothan B, Guerin G, Lerceteau-Kohler E, Risser G (2005) Inheritance of a race-specific resistance to *Colletotrichum acutatum* in *Fragaria ananassa*. *Phytopathology* 95:405–412. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-95-0405>
- Forcelini BB, Seijo TE, Amiri A, Peres NA (2016) Resistance in strawberry isolates of *Colletotrichum acutatum* from Florida to quinone-outside inhibitor fungicides. *Plant Dis* 100(10):2050–2056. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-16-0118-RE>
- Han GX, Li Q, Sun FZ, Li HY (2009) Identification of pathogen caused strawberry anthracnose and their resistance to carbendazim and diethofencarb. *Zhejiang Agric Sci* 6:1169–1172
- Jang YJ, Oh Y, Verma S, Porter ME et al (2024) Updates on strawberry DNA testing and marker-assisted breeding at the University of Florida. *Internat J Fruit Sci* 24(1):219–228. <https://doi.org/10.1080/15538362.2024.2365683>
- Ji Y, Li X, Gao QH, Geng C et al (2022) *Colletotrichum* species pathogenic to strawberry: discovery history, global diversity, prevalence in China, and the host range of top two species. *Phytopathol Res* 4(1):42. <https://doi.org/10.1186/s42483-022-00147-9>
- Jian Y, Li Y, Tang G, Zheng X et al (2021) Identification of *Colletotrichum* species associated with anthracnose disease of strawberry in Sichuan Province, China. *Plant Dis* 105(10):3025–3036. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-20-2114-RE>
- Keldibekova M, Bezlepkina E, Zubkova M, Dolzhikova M (2024) DNA-screening of strawberry cultivars and hybrids (*Fragaria ananassa* Duch.) for resistance to fungal diseases. *Pak J Bot* 56(2):29. [https://doi.org/10.30848/PJB2024-2\(29\)](https://doi.org/10.30848/PJB2024-2(29))
- Lerceteau-Kohler E, Guerin G, Denoyes-Rothan B (2005) Identification of SCAR markers linked to *Rca2* anthracnose resistance gene and their assessment in strawberry germplasm. *Theor Appl Gen* 111:862–870. <https://doi.org/10.1007/s00122-005-0008-1>

- Lukyanchuk IV, Lyzhin AS, Kozlova II (2018) Analysis of strawberry genetic collection (*Fragaria* L.) for *Rca2* and *Rpfl* genes with molecular markers. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding* 22(7):795–799. <https://doi.org/10.18699/VJ18.423>
- Lyzhin A, Lukyanchuk I (2021a) Assessment of strawberry varieties by anthracnose resistance gene. *BIO Web Conf* 34:02007. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213402007>
- Lyzhin A, Lukyanchuk I (2021b) Marker-assisted screening of promising forms in the strawberry breeding. *E3S Web Conf* 254:03002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125403002>
- MacKenzie SJ, Legard DE, Timmer LW, Chandler CK et al (2006) Resistance of strawberry cultivars to crown rot caused by *Colletotrichum gloeosporioides* isolates from Florida is nonspecific. *Plant Dis* 90(8):1091–1097. <https://doi.org/10.1094/PD-90-1091>
- Morkeliūnė A, Rasiukevičiūtė N, Frercks B, Bendokas V et al (2025) Evaluation of strawberry *Colletotrichum* spp. genetic diversity in Lithuania. *Agronomy* 15(3):720. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030720>
- Santos García de Paredes B, Muñoz FR (2002) Effect of different fungicides in the control of *Colletotrichum acutatum*, causal agent of anthracnose crown rot in strawberry plants. *Crop Prot* 21(1):11–15. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(01\)00054-0](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00054-0)
- Nam MH, Yoo JH, Yun T, Kim H et al (2023). Anthracnose of strawberry: etiological and ecological characteristics, and management. *Res Plant Dis* 29(3):205–219. <https://doi.org/10.5423/RPD.2023.29.3.205>
- Njuguna W (2010) Development and use of molecular tools in *Fragaria*. PhD Thesis. Oregon State University. 370 p.
- Rose C, Damm U (2024) Diversity of *Colletotrichum* species on strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) in Germany. *Phytopathol Mediterr* 63:3–26. <https://doi.org/10.36253/phy-to-15094>
- Salinas N, Verma S, Peres N, Whitaker VM (2019) *FaRCal*: a major subgenome-specific locus conferring resistance to *Colletotrichum acutatum* in strawberry. *Theor Appl Gen* 132:1109–1120. <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3263-7>
- Salinas N, Fan Z, Peres N, Lee S et al (2020) *FaRCal* confers moderate resistance to the root necrosis form of strawberry anthracnose caused by *Colletotrichum acutatum*. *HortScience* 55(5):693–698. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14807-20>
- Smith BJ (2008) Epidemiology and pathology of strawberry anthracnose: a North American perspective. *HortScience* 43(1):69–73.
- Smith BJ (2013). Strawberry anthracnose: progress toward control through science. *Internat J Fruit Sci* 13(1–2):91–102. <https://doi.org/10.1080/15538362.2012.697025>
- Sturzeanu M, Ciuca M, Cristina D, Turcu AG (2021) Use of RAPD and SCAR markers for identification of strawberry genotypes with red stele resistance genes *Rpfl* and fruit rot resistance genes *Rca2* in the hybrid progenies. *Acta Hort* 1309:93–100. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1309.15>
- Zhang L, Song L, Xu X, Zou X et al (2020) Characterization and fungicide sensitivity of *Colletotrichum* species causing strawberry anthracnose in Eastern China. *Plant Dis* 104(7):1960–1968. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-19-2241-RE>
- Zurn JD, Hummer KE, Bassil NV (2022) Exploring the diversity and genetic structure of the US National Cultivated Strawberry Collection. *Hortic Res* 9:uhac125 <https://doi.org/10.1093/hr/uhac125>

#### Translation of Russian References

- Keldibekova MA, Zubkova MI (2023) [Analysis of *Fragaria ananassa* Duch. cultivars by *Rca2* and *Rpfl* genes using DNA markers]. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki* 3(35):103–109. <http://doi.org/10.5281/zenodo.10135427> (In Russian)
- Lyzhin AS, Lukyanchuk IV, Zhbanova EV EB (2019) [Polymorphism of the *Rca2* anthracnose resistance gene in strawberry cultivars (*Fragaria* × *ananassa*)]. *Proceedings on Applied Botany Genetics and Breeding* 180(1):73–77. <http://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-1-73-77> (In Russian)
- Lyzhin AS, Lukyanchuk IV (2023) [Inheritance of anthracnose resistance determined by the dominant *Rca2* gene in strawberry hybrid progeny]. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki* 3(35):137–144. <http://doi.org/10.5281/zenodo.10141405> (In Russian)
- Lyzhin AS, Lukyanchuk IV (2024a) [Analysis of polymorphism at the *FaRcal* locus to identify strawberry genotypes resistant to *Colletotrichum acutatum*]. *Proceedings on Applied Botany Genetics and Breeding* 185(4):150–158. <http://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-4-150-158> (In Russian)
- Lyzhin AS, Lukyanchuk IV (2024b) [Marker-assisted analysis of strawberry hybrid seedlings according to anthracnose resistance (*Rca2* gene)]. *Byulleten Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* 150:58–62. <http://doi.org/10.25684/0513-1634-2024-150-58-62> (In Russian)
- Lyzhin AS, Lukyanchuk IV (2025) [Molecular screening of anthracnose resistance allele *Rca2* in strawberry varieties and selected forms]. *Proceedings of the National academy of sciences of Belarus. Agrarian series* 63(1):35–44. <http://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-1-35-44> (In Russian)
- Tarasova EV, Kapitova IA, Andronova NV (2024) [Identification of the allelic state of the *Rca2* gene for resistance to anthracnose and determination of genetic relatedness in garden strawberry genotypes]. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* 1:5–11. <http://doi.org/10.31676/0235-2591-2024-1-5-11> (In Russian)
- Khudyakova AV, Markova MG (2025) [Screening of the strawberry collection for the presence of resistance loci *Rca2* and *08 To-f*]. *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka* 26(3):546–554. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.546-554> (In Russian)

GENOTYPING OF STRAWBERRY VARIETIES FOR LOCI OF RESISTANCE  
TO ANTHRACNOSE (*COLLETOTRICHUM* SPP.)

A.S. Lyzhin\*, I.V. Lukyyanchuk

“I.V. Michurin Federal Scientific Center”, Michurinsk, Russia

\*corresponding author, e-mail: [Ranenburzhetc@yandex.ru](mailto:Ranenburzhetc@yandex.ru)

Molecular marking of 54 strawberry varieties (*Fragaria* × *ananassa*) for resistance loci to *Colletotrichum acutatum* (*FaRca1*, *Rca2*) and *C. gloeosporioides* (*FaRCg1*) was carried out. At least one of the studied resistance loci is present in 73.7% of the analyzed strawberry varieties. Resistance alleles to *C. acutatum* of the pathogenicity group 1 (*FaRca1*) and the pathogenicity group 2 (*Rca2*) were detected in 40.3% and 12.3% of the analyzed varieties. All identified varieties – carriers of the *FaRca1* and *Rca2* alleles have a heterozygous genotype. The *FaRCg1* resistance locus to *C. gloeosporioides* is present in 40.3% of samples. A statistically significant predominance of the *FaRCg1* locus was noted in Russian strawberry varieties. The identified varieties – carriers of the *FaRCg1* allele can have a homozygous or heterozygous genotype. Two loci out of three in three variants of the combination of resistance alleles (*FaRca1*+*FaRCg1*, *FaRca1*+*Rca2*, *FaRCg1*+*Rca2*) were detected in 15.8% of samples, and in most cases (77.8%) this is a combination of the *FaRca1* and *FaRCg1* loci. Among Russian strawberry samples, this allelic combination has been identified in the varieties Zenit, Neznakomka, Urozhaynaya TSGL, and Flora; among foreign samples – in the varieties Korona, Salsa, and Vicoda. The combinations *FaRca1*+*Rca2* and *FaRCg1*+*Rca2* characterize the varieties Aprica and Sudarushka, respectively. Three resistance alleles were identified in the strawberry variety Borovitskaya (1.7% of the total number of samples). The indicated strawberry varieties are promising complex genetic sources of alleles of resistance to anthracnose caused by *C. acutatum* and *C. gloeosporioides*.

**Keywords:** *Fragaria* × *ananassa*, variety, resistance, *Colletotrichum acutatum*, *Colletotrichum gloeosporioides*, molecular markers, marker-assisted selection

Submitted: 12.11.2025

Accepted: 30.03.2026