

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 634.75:577.2:575.22
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-2-122-128



Аллельное разнообразие гена *FaOMT* (биосинтез мезифурана) у перспективных сортов и отборных форм земляники селекции Федерального научного центра имени И.В. Мичурина

А. С. Лыжин, И. В. Лукьянчук

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

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

Актуальность. Аромат плодов – важный потребительский признак сортов земляники. Идентификация генотипов, несущих гены ароматического комплекса, является важным этапом создания сортов земляники с ароматными плодами. Цель исследования – анализ аллельного состояния гена *FaOMT* ароматического комплекса плодов у сортов и отборных гибридных сеянцев земляники, полученных в Федеральном научном центре имени И.В. Мичурина, для идентификации генотипов, перспективных для вовлечения в селекционные программы по совершенствованию аромата плодов.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись сорта и перспективные гибридные сеянцы земляники, созданные в Федеральном научном центре имени И.В. Мичурина с использованием методов интрогрессивной и межсортовой гибридизации. Оценку аллельного состояния гена *FaOMT* проводили с использованием кодоминантного маркера *FaOMT-SI/NO*.

Результаты и выводы. У изучаемых сортов и форм земляники ген *FaOMT* ароматического комплекса плодов представлен тремя вариантами комбинации аллелей: гомозиготное состояние функционального аллеля, гетерозиготное сочетание аллелей и гомозиготное состояние нефункционального аллеля. Сорта 'Рубиновый каскад', 'Привлекательная' и 'Фейерверк' характеризуются гетерозиготным сочетанием аллелей гена *FaOMT*, сорта 'Ласточка', 'Памяти Зубова', 'Флора', 'Яркая' и 'Урожайная ЦГЛ' имеют гомозиготный генотип по аллелю *FaOMT+*. Отборные формы 928-12, 26-5, 72-71, 62-41 имеют гетерозиготный генотип; гибриды 298-19-9-43 и 932-29 – гомозиготный генотип по функциональному аллелю *FaOMT+*; отборные формы 61-12 и 65-26 характеризуются гомозиготным состоянием нефункционального аллеля *FaOMT-*. Выявлены перспективные для вовлечения в селекционный процесс формы земляники, характеризующиеся наличием функционального аллеля *FaOMT+* в гомозиготной форме: сорта 'Ласточка', 'Памяти Зубова', 'Флора', 'Яркая', 'Урожайная ЦГЛ' и отборные формы 298-19-9-43, 932-29.

Ключевые слова: молекулярные маркеры, маркер-опосредованная селекция, генотип, аромат плодов

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФНЦ имени И.В. Мичурина по проекту FGSU-2022-0002 «Разработать модели идеального сорта по основным промышленным садовым культурам, усовершенствовать методы направленной и маркер-опосредованной селекции и на их основе создать новые генотипы с повышенной устойчивостью к комплексу биотических и абиотических стрессоров, с высокой продуктивностью и улучшенным качеством плодов, конкурентоспособных на российском и мировом рынках».

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

Для цитирования: Лыжин А.С., Лукьянчук И.В. Аллельное разнообразие гена *FaOMT* (биосинтез мезифурана) у перспективных сортов и отборных форм земляники селекции Федерального научного центра имени И.В. Мичурина. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(2):122-128. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-2-122-128

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-2-122-128

Allelic diversity of the *FaOMT* gene (mesifurane biosynthesis) in promising strawberry cultivars and selected forms developed at the I.V. Michurin Federal Science Center

Alexander S. Lyzhin, Irina V. Luk'yanchuk

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

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

Background. Fruit aroma is an important consumer trait of strawberry varieties. Identification of genotypes carrying the genes of the aromatic complex in fruits is an important stage in the development of new cultivars with aromatic fruits. The purpose of this study was to analyze the allelic state of the *FaOMT* fruit aroma gene in strawberry cultivars and selected forms developed at the I.V. Michurin Federal Science Center to identify promising genotypes for use in breeding for fruit aroma.

Materials and methods. The research materials were strawberry cultivars and promising selected forms developed at the I.V. Michurin FSC using the methods of introgressive and intervarietal hybridization. Allelic state of the *FaOMT* gene was identified with the codominant marker *FaOMT-SI/NO*.

Results and conclusion. The *FaOMT* fruit aroma gene is represented in the studied strawberry varieties and forms by three combinations of alleles: the homozygous state of the functional allele, the heterozygous combination of the alleles, and the homozygous state of the nonfunctional allele. Cvs. 'Rubinovy kaskad', 'Privlekatelnaya' and 'Feyerverk' are characterized by a heterozygous combination of alleles of the *FaOMT* gene. Cvs. 'Lastochka', 'Pamyati Zubova', 'Flora', 'Yarkaya' and 'Urozhaynaya CGL' are characterized by the homozygous state of the *FaOMT+* allele. Selected strawberry forms 928-12, 26-5, 72-71 and 62-41 have the heterozygous genotype; hybrids 298-19-9-43 and 932-29 are characterized by the homozygous state of the *FaOMT+* allele; selected forms 61-12 and 65-26 are characterized by the homozygous state of the nonfunctional *FaOMT-* allele. Strawberry forms promising for breeding, with the homozygous state of the functional *FaOMT+* allele, were identified: cvs. 'Lastochka', 'Pamyati Zubova', 'Flora', 'Yarkaya' and 'Urozhaynaya CGL', and selected forms 298-19-9-43 and 932-29.

Keywords: molecular markers, marker-assisted selection, genotype, fruit aroma

Acknowledgments: the research was performed within the framework of the State Task delegated to the I.V. Michurin FSC, Project No. FGSU-2022-0002 "To develop models of an ideal cultivar for the main commercial horticultural crops, improve methods of targeted and marker-assisted selection, and produce on their basis new genotypes with increased resistance to a set of biotic and abiotic stressors, with high productivity and improved fruit quality, competitive in the Russian and world markets".

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

For citation: Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V. Allelic diversity of the *FaOMT* gene (mesifurane biosynthesis) in promising strawberry cultivars and selected forms developed at the I.V. Michurin Federal Science Center. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(2):122-128. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-2-122-128

Введение

Вкус и аромат плодов – важные потребительские признаки сортов земляники, во многом обуславливающие их коммерческую ценность и востребованность на рынке. К настоящему времени идентифицировано свыше 350 соединений, участвующих в формировании аромата плодов земляники. При этом относительное содержание летучих ароматообразующих веществ в плодах является характерным признаком конкретного вида или сорта (Wein et al., 2002; Oh et al., 2021).

Значительный вклад в формирование аромата плодов земляники вносят фураноны, придающие плодам сладкие карамельные, фруктовые и цветочные ноты. В плодах земляники фураноны в основном представлены фуранеолом (2,5-диметил-4-гидрокси-3(2H)-фуранон) и мезифураном (4-метокси-2,5-диметил-3-фуранон) (Urrutia et al., 2017; Li et al., 2021).

Уровень накопления фуранонов в плодах земляники детерминирован генотипически, однако на их содержание также влияет степень зрелости плодов, а также складывающиеся во время их роста и развития погодные климатические условия (Urrutia et al., 2017; Yamada et al., 2019). При этом, в отличие от большинства летучих ароматообразующих веществ, уровень накопления которых детерминирован полигенно, концентрация мезифурана в плодах земляники определяется геном *FaOMT*, который кодирует O-метилтрансферазу, катализирующую образование мезифурана из фуранеола (Wein et al., 2002).

В геноме земляники ген *FaOMT* представлен двумя аллельными вариантами: *FaOMT+* (функциональный, активный аллель, высокий уровень накопления мезифурана), *FaOMT-* (нефункциональный, неактивный аллель, мезифуран не продуцируется) (Zorrilla-Fontanesi et al., 2012). У генотипов земляники, характеризующихся гомозиготным состоянием аллеля *FaOMT+*, наблюдается максимальный уровень биосинтеза мезифурана в плодах; у генотипов с гомозиготным состоянием неактивного аллеля мезифуран в плодах не продуцируется. Формы земляники с гетерозиготным сочетанием аллелей гена *FaOMT* по уровню биосинтеза мезифурана занимают промежуточное положение между гомозиготными генотипами (Cruz-Rus et al., 2017). У непродуцентов мезифурана в промоторной зоне гена *FaOMT* отсутствует последовательность из 30 пн, содержащая предполагаемые сайты связывания для основных факторов транскрипции MYB и VZ1P. Данный полиморфизм коррелирует как с фактическим содержанием мезифурана в плодах, так и с уровнем экспрессии гена *FaOMT* (Zorrilla-Fontanesi et al., 2012).

Моногенный контроль содержания мезифурана в плодах подтверждается также методом РНК-интерференции, показавшим практически полное отсутствие мезифурана в плодах при репрессии транскриптов гена *FaOMT* (Härtl et al., 2017).

При этом необходимо отметить, что в большинстве селекционных программ по землянике аромат плодов не учитывался как существенный признак, что привело к его элиминации у многих широко возделываемых сортов, и лишь в последнее время совершенствованию таких показателей, как биохимический состав и аромат плодов земляники, стало уделяться серьезное внимание (Bianchi et al., 2017).

Целью исследования являлся молекулярно-генетический анализ аллельного состояния гена *FaOMT* ароматического комплекса плодов у сортов и отборных гибридных сеянцев земляники, полученных в Федеральном на-

учном центре имени И.В. Мичурина, для идентификации генотипов, перспективных для вовлечения в селекционные программы по совершенствованию аромата плодов.

Материалы и методы

Исследования проведены в 2020–2022 гг. В качестве биологических объектов использованы сорта и перспективные сеянцы земляники, созданные в Федеральном научном центре имени И.В. Мичурина с использованием методов интрогрессивной и межсортной гибридизации: двухвидовые гибриды с участием земляники овальной *Fragaria ovalis* Rydb. (синоним *F. virginiana* subsp. *glauca*) и земляники садовой *F. × ananassa* Durh. (сорта 'Ласточка', 'Рубиновый каскад', 'Памяти Зубова'), двухвидовой гибрид с участием *F. virginiana* subsp. *platypetala* (Rydb.) Staudt и земляники садовой (отборная форма 932-29), трехвидовые гибриды с участием земляники восточной (*F. orientalis* Los.), земляники мускатной (*F. moschata* Duch.) и земляники садовой (отборные формы 26-5, 928-12, 298-19-9-43), межсортные гибриды земляники садовой (сорта 'Привлекательная', 'Урожайная ЦГЛ', 'Фейерверк', 'Флора', 'Яркая', отборные формы 61-12, 62-41, 65-26, 72-71) (табл. 1).

Экстракция тотальной ДНК генотипов земляники проводилась методом СТАВ с модификациями (Luk'yan'chuk et al., 2018).

Идентификация аллельного состояния гена *FaOMT* проводилась методом ДНК-анализа с использованием диагностического маркера *FaOMT-SI/NO* (Zorrilla-Fontanesi et al., 2012). Маркер *FaOMT-SI/NO* является кодоминантным. Функциональному аллелю *FaOMT+* соответствует ампликон размером 248 пн, нефункциональному аллелю *FaOMT-* соответствует ампликон размером 217 пн. В случае гетерозиготного сочетания аллелей гена *FaOMT* на электрофореграмме присутствуют оба целевых продукта, а также в большинстве случаев наблюдается образование дополнительного ампликона, предположительно являющегося продуктом амплификации родственных последовательностей в гомеологах. Наличие данного фрагмента на электрофореграмме является дополнительным диагностическим критерием гетерозиготного состояния гена *FaOMT*, так как при наличии фрагмента 248 пн ампликон размером 217 пн может синтезироваться в недостаточном количестве и быть слабо визуализируемым (Cruz-Rus et al., 2017).

Полимеразную цепную реакцию проводили в термоциклере T100 (Bio-Rad, США) по описанной ранее программе (Lyzhin et al., 2020).

Фракционирование продуктов ПЦР-анализа проводили методом электрофореза в 2-процентном агарозном геле. Для определения длины амплифицированных фрагментов использовался Gene Ruler 100 bp DNA Ladder (Thermo Fisher Scientific, США).

Результаты и обсуждение

Согласно проведенным исследованиям, у изучаемых сортов и отборных форм земляники ген *FaOMT* ароматического комплекса плодов представлен тремя вариантами комбинации аллелей: гомозиготное состояние функционального (активного) аллеля *FaOMT+*, гетерозиготное сочетание аллелей и гомозиготное состояние нефункционального аллеля *FaOMT-*. Функциональный аллель *FaOMT+* выявлен у всех проанализированных сортов земляники. При этом сорта 'Рубиновый каскад', 'При-

Таблица 1. Анализируемые сорта и отборные формы земляники
Table 1. The analyzed strawberry cultivars and selected forms

Генотип / Genotype	Происхождение / Origin
Ласточка	({{Рубиновый кулон × (Фестивальная × <i>F. ovalis</i>) × Cardinal} × Привлекательная) × Привлекательная
Рубиновый каскад	
Памяти Зубова	[Фейерверк × (Belrubi × <i>F. ovalis</i>)] × Holiday
Привлекательная	Рубиновый кулон × Allbritton
Урожайная ЦГЛ	Senga Sengana × Redcoat
Фейерверк	
Флора	
Яркая	
26-5	Рубиновый кулон × ({{(<i>F. orientalis</i> × Cavalier) × <i>F. moschata</i> } × Redcoat} × Senga Sengana)
61-12	Былинная × Олимпийская надежда
62-41	Былинная × Фейерверк
65-26	Олимпийская надежда × Былинная
72-71	Привлекательная × Былинная
928-12	({{(<i>F. orientalis</i> × Cavalier) × <i>F. moschata</i> } × Redcoat} × Senga Sengana) × Привлекательная
932-29	<i>F. virginiana</i> subsp. <i>platypetala</i> (Rydb.) Staudt × Фейерверк
298-19-9-43	{{(<i>F. orientalis</i> × Cavalier) × <i>F. moschata</i> } × Redcoat} × Senga Sengana

влекательная' и 'Фейерверк' характеризуются гетерозиготным сочетанием аллелей гена *FaOMT*, а сорта 'Ласточка', 'Памяти Зубова', 'Флора', 'Яркая' и 'Урожайная ЦГЛ' имеют гомозиготный генотип по аллелю *FaOMT+*. Среди проанализированных перспективных отборных форм земляники аллель *FaOMT+* идентифицирован у шести генотипов из восьми. Отборные формы 928-12, 26-5, 72-71, 62-41 имеют гетерозиготный генотип; гибриды 298-19-9-43 и 932-29 – гомозиготный генотип по функциональному аллелю *FaOMT+*; отборные формы 61-12 и 65-26 характеризуются наличием нефункционального аллеля в гомозиготной форме (рисунок, табл. 2).

Из семи генотипов земляники, характеризующихся гетерозиготным сочетанием аллелей гена *FaOMT*, четыре (сорта 'Привлекательная', 'Фейерверк'; отборные формы 72-71, 62-41) получены методом межсортовой гибридизации в пределах вида *F. × ananassa*, а три (сорт 'Рубиновый каскад', отборные формы 928-12, 26-5) – с вовлечением в гибридизацию геноплазмы дикорастущих видов рода *Fragaria* L., многие из которых характеризуются богатым и насыщенным ароматом плодов (Ulrich et al., 2007; Duan et al., 2018). В частности, высоким уровнем биосинтеза мезифурана в плодах характеризуется использованная в качестве исходной формы земляника мускатная, а также дикорастущие виды *F. virginiana* Duch. и *F. vesca* L. (Ulrich et al., 2007; Cruz-Rus et al., 2017).

Среди гомозиготных по функциональному аллелю *FaOMT+* генотипов четыре (сорта 'Ласточка', 'Памяти Зубова'; отборные формы 298-19-9-43, 932-29) имеют сложное межвидовое происхождение, три (сорта 'Флора', 'Яркая', 'Урожайная ЦГЛ') – межсортовые гибриды земляники садовой.

Сорта и отборные гибриды, характеризующиеся гомозиготным генотипом по какому-либо признаку, являются ценными исходными формами в селекции, так как обеспечивают 100-процентное наследование целевого аллеля в гибридном потомстве, позволяя тем самым снизить финансовые и трудовые затраты на выращивание и анализ гибридных семян и ускорить создание новых сортов с комплексом хозяйственно ценных признаков (Kuznetsov, Gruner, 2010; Baumgartner et al., 2015).

Кроме того, сорт 'Ласточка' характеризуется наличием в генотипе функционального аллеля гена *FanAAMT* (биосинтез метилантранилата в плодах) (Lyzhin, Luk'yanchuk, 2021), в связи с чем представляет интерес как комплексный источник в селекции на улучшенный аромат плодов. Ген *FanAAMT* также идентифицирован у сорта 'Фейерверк' (Lyzhin, Luk'yanchuk, 2021), который, таким образом, совмещает функциональные аллели двух генов в гетерозиготном состоянии и также является ценной исходной формой для селекционных программ по созданию новых сортов земляники с ароматными плодами.

Также необходимо отметить, что сорт 'Фейерверк', характеризующийся гетерозиготным генотипом, и сорта 'Флора', 'Яркая' и 'Урожайная ЦГЛ', имеющие гомозиготный генотип по функциональному аллелю *FaOMT+*, выделены в одной комбинации скрещивания – Senga Sengana × Redcoat. Полученные результаты свидетельствуют о том, что у использованных в качестве родительских форм сортов 'Senga Sengana' и 'Redcoat' ген *FaOMT* находится в гетерозиготном состоянии.

Отборные формы 61-12, 65-26, 72-71 и 62-41 получены с использованием в качестве одной из родительских форм сорта 'Былинная', который, согласно проведенным

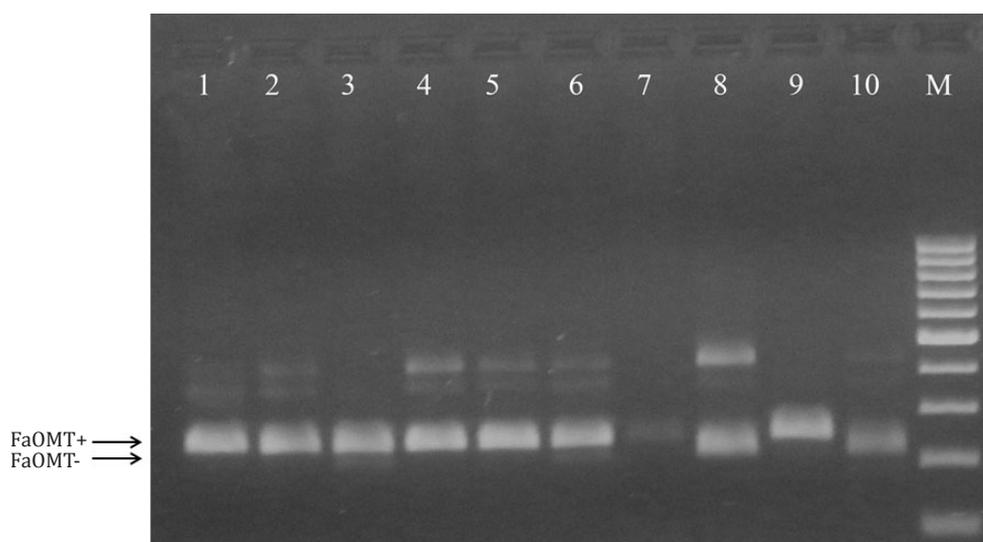


Рисунок. Электрофореграмма продуктов амплификации геномной ДНК сортов и отборных форм земляники с праймером FaOMT-SI/NO:

1 – ‘Рубиновый каскад’, 2 – ‘Фейерверк’, 3 – ‘Ласточка’, 4 – ‘Привлекательная’,
5 – 26-5, 6 – 72-71, 7 – ‘Урожайная ЦГЛ’, 8 – 61-12, 9 – ‘Флора’, 10 – 65-26; м – маркер молекулярного веса ДНК

Figure. Electrophoregram of genomic DNA amplification products from strawberry cultivars and selected forms with the FaOMT-SI/NO primer:

1 – ‘Rubinovy kaskad’, 2 – ‘Feyerverk’, 3 – ‘Lastochka’, 4 – ‘Privlekatelnaya’, 5 – 26-5, 6 – 72-71, 7 – ‘Urozhaynaya CGL’, 8 – 61-12, 9 – ‘Flora’, 10 – 65-26; м – DNA molecular weight marker

Таблица 2. Аллельное разнообразие гена биосинтеза мезифурана в плодах (*FaOMT*) у сортов и отборных форм земляники

Table 2. Allelic diversity of the *FaOMT* mesifurane biosynthesis gene in strawberry cultivars and selected forms

Сорт, отборная форма / Cultivar, selected form	Маркер FaOMT-SI/NO / FaOMT-SI/NO marker		Сочетание аллелей гена <i>FaOMT</i> / Combination of the <i>FaOMT</i> alleles
	217 пн / 217 bp	248 пн / 248 bp	
Ласточка		+	Гомозиготное (аллель <i>FaOMT</i> +))
Рубиновый каскад	+	+	Гетерозиготное
Памяти Зубова		+	Гомозиготное (аллель <i>FaOMT</i> +))
Привлекательная	+	+	Гетерозиготное
Фейерверк	+	+	Гетерозиготное
Флора		+	Гомозиготное (аллель <i>FaOMT</i> +))
Урожайная ЦГЛ		+	Гомозиготное (аллель <i>FaOMT</i> +))
Яркая		+	Гомозиготное (аллель <i>FaOMT</i> +))
26-5	+	+	Гетерозиготное
61-12	+		Гомозиготное (аллель <i>FaOMT</i> -)
62-41	+	+	Гетерозиготное
65-26	+		Гетерозиготное
72-71	+	+	Гетерозиготное
928-12	+	+	Гетерозиготное
932-29		+	Гомозиготное (аллель <i>FaOMT</i> +))
298-19-9-43		+	Гомозиготное (аллель <i>FaOMT</i> +))

ранее исследованиям (Lyzhin et al., 2020), характеризуется гомозиготным состоянием неактивного аллеля *FaOMT*-. В связи с этим в комбинациях скрещивания с участием сорта 'Былинная' гибридные сеянцы могут иметь гетерозиготный или гомозиготный по неактивному аллелю генотип. Данное предположение подтверждается результатами молекулярно-генетического анализа: формы 72-71 (Привлекательная × Былинная) и 62-41 (Былинная × Фейерверк) имеют гетерозиготный генотип, формы 61-12 (Былинная × Олимпийская надежда) и 65-26 (Олимпийская надежда × Былинная) – гомозиготный генотип по нефункциональному аллелю *FaOMT*-.

Заключение

Таким образом, проанализировано аллельное состояние гена *FaOMT*, контролирующего биосинтез мезифурана в плодах, у сортов и перспективных отборных форм земляники селекции ФНЦ имени И.В. Мичурина. Идентифицированы перспективные формы земляники, характеризующиеся наличием функционального аллеля *FaOMT*+ в гомозиготной форме – сорта 'Ласточка', 'Памяти Зубова', 'Флора', 'Яркая', 'Урожайная ЦГЛ' и отборные формы 298-19-9-43, 932-29, вовлечение которых в селекционный процесс теоретически позволит получить в гибридном потомстве 100% сеянцев с функциональным аллелем *FaOMT*+.

References / Литература

- Baumgartner I.O., Patocchi A., Frey J.E., Peil A., Kellerhals M. Breeding elite lines of apple carrying pyramided homozygous resistance genes against apple scab and resistance against powdery mildew and fire blight. *Plant Molecular Biology*. 2015;33(5):1573-1583. DOI: 10.1007/s11105-015-0858-x
- Bianchi G., Lucchi P., Maltoni M.L., Fagherazzi A.F., Baruzzi G. Analysis of aroma compounds in new strawberry advanced genotypes. *Acta Horticulturae*. 2017;1156:673-678. DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1156.98
- Cruz-Rus E., Sesmero R., Ángel-Pérez J.A., Sánchez-Sevilla J.F., Ulrich D., Amaya I. Validation of a PCR test to predict the presence of flavor volatiles mesifurane and γ -decalactone in fruits of cultivated strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Molecular Breeding*. 2017;37(10):131. DOI: 10.1007/s11032-017-0732-7
- Duan W., Sun P., Chen L., Gao S., Shao W., Li J. Comparative analysis of fruit volatiles and related gene expression between the wild strawberry *Fragaria pentaphylla* and cultivated *Fragaria × ananassa*. *European Food Research and Technology*. 2018;244:57-72. DOI: 10.1007/s00217-017-2935-x
- Härtl K., Kalinowski G., Hoffmann T., Preuss A., Schwab W. RNAi-mediated endogene silencing in strawberry fruit: detection of primary and secondary siRNAs by deep sequencing. *Plant Biotechnology Journal*. 2017;15(5):658-668. DOI: 10.1111/pbi.12664
- Kuznetsov M.N., Gruner L.A. History and achievements of the All-Russia Research NII of Horticultural Breeding (to 165 anniversary of the establishment). *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2010;(4):5-8. [in Russian] (Кузнецов М.Н., Грюнер Л.А. История и научные достижения Всероссийского НИИ селекции плодовых культур (к 165-летию учреждения). *Достижения науки и техники АПК*. 2010;(4):5-8).
- Li Y., Zhang Y., Liu X., Xiao Y., Zhang Z., Shi Y. et al. Cultivation conditions change aroma volatiles of strawberry fruit. *Horticulturae*. 2021;7(4):81. DOI: 10.3390/horticulturae7040081
- Luk'yanchuk I.V., Lyzhin A.S., Kozlova I.I. Analysis of strawberry genetic collection (*Fragaria* L.) for *Rca2* and *Rpfl* genes with molecular markers. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(7):795-799. DOI: 10.18699/VJ18.423
- Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V. Genetic diversity in wild species and cultivars of strawberry for the *FANAAMT* gene controlling fruit flavor volatiles. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2021;182(2):72-80. [in Russian] (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: 10.30901/2227-8834-2021-2-72-80
- Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V., Zhanova E.V. Polymorphism of the *FaOMT* and *FaFAD1* genes for fruit flavor volatiles in strawberry varieties and wild species from the genetic collection of the Michurin Federal Research Center. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(1):5-11. DOI: 10.18699/VJ20.588
- Oh Y., Barbey C.R., Chandra S., Bai J., Fan Z., Plotto A. et al. Genomic characterization of the fruity aroma gene, *FaFAD1*, reveals a gene dosage effect on γ -decalactone production in strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:639345. DOI: 10.3389/fpls.2021.639345
- Ulrich D., Komes D., Olbricht K., Hoberg E. Diversity of aroma patterns in wild and cultivated *Fragaria* accessions. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2007;54(6):1185-1196. DOI: 10.1007/s10722-006-9009-4
- Urrutia M., Rambla J.L., Alexiou K.G., Granell A., Monfort A. Genetic analysis of the wild strawberry (*Fragaria vesca*) volatile composition. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2017;121:99-117. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.10.015
- Wein M., Lavid N., Lunkenbein S., Lewinsohn E., Schwab W., Kaldenhoff R. Isolation, cloning and expression of a multifunctional O-methyltransferase capable of forming 2, 5-dimethyl-4-methoxy-3 (2H)-furanone, one of the key aroma compounds in strawberry fruits. *The Plant Journal*. 2002;31(6):755-765. DOI: 10.1046/j.1365-3113X.2002.01396.x
- Yamada A., Ishiuchi K.I., Makino T., Mizukami H., Terasaka K. A glucosyltransferase specific for 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone in strawberry. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2019;83(1):106-113. DOI: 10.1080/09168451.2018.1524706
- Zorrilla-Fontanesi Y., Rambla J.L., Cabeza A., Medina J.J., Sánchez-Sevilla J.F., Valpuesta V. et al. Genetic analysis of strawberry fruit aroma and identification of O-methyltransferase *FaOMT* as the locus controlling natural variation in mesifurane content. *Plant physiology*. 2012;159(2):851-870. DOI: 10.1104/pp.111.188318

Информация об авторах

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

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

Information about the authors

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

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

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 03.03.2022; одобрена после рецензирования 18.05.2022; принята к публикации 03.06.2022.

The article was submitted on 03.03.2022; approved after reviewing on 18.05.2022; accepted for publication on 03.06.2022.