

УДК 634.75:577.2:575.22
DOI: 10.5281/zenodo.7898457
EDN IOHVNY

Лыжин А. С., Лукьянчук И. В.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНА БИОСИНТЕЗА МЕТИЛАНТРАНИЛАТА (*FanAAMT*) В ГЕНОПЛАЗМЕ СОРТОВ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

ФГБНУ «Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина»

Реферат. Аромат плодов – важный потребительский признак сортов земляники, обусловленный накоплением в плодах в процессе их созревания комплекса низкомолекулярных летучих органических веществ. Одним из важнейших ароматообразующих соединений плодов земляники является метиловый эфир антраниловой кислоты (метилантранилат). При этом многие современные сорта характеризуются низким содержанием метилантранилата в плодах. Цель работы – маркер-опосредованный скрининг сортов земляники генетической коллекции ФГБНУ «Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина» по гену *FanAAMT*, вовлечённому в контроль детерминации метилантранилата (кодирует метилтрансферазу антраниловой кислоты), для выявления форм, перспективных для селекции на аромат плодов. Исследования проведены в 2022–2023 гг. В качестве биологических объектов использованы сорта земляники садовой (*Fragaria × ananassa Duch.*) селекции ФГБНУ «ФНЦ им. И. В. Мичурина», а также интродуцированные из различных эколого-географических регионов происхождения. Для идентификации в геноплазме земляники целевого аллеля гена *FanAAMT* использовали праймеры *FanAAMT*. Положительным контролем являлся дикорастущий вид *Fragaria vesca L.* В результате проведённых исследований целевой ампликон размером 1500 п.н., соответствующий функциональному аллелю гена *FanAAMT*, идентифицирован у 38,1 % форм. Среди сортов отечественной селекции ген *FanAAMT* присутствует у 44,4 % генотипов, среди сортов зарубежной селекции – у 33,3 % форм. При этом статистически значимых различий между выборками российских и зарубежных сортов не установлено ($t_{\text{факт}} = 0,3 \leq t_{\text{ст}} = 4,3$). Источниками функционального аллеля гена *FanAAMT* для селекции являются сорта: Елизавета 2, Рубиновый каскад, Славутич, Аму, Joly, Limalexia, Rimba. Сорт Ласточка (922-67 × Привлекательная), созданный в ФНЦ им. И. В. Мичурина, является комплексным источником генов аромата плодов: *FanAAMT* (биосинтез метилантранилата) и *FaOMT* (биосинтез мезифурана). У остальных проанализированных генотипов земляники целевой ампликон маркера *FanAAMT* не выявлен, что свидетельствует об отсутствии гена *FanAAMT*.

Ключевые слова: земляника садовая (*Fragaria × ananassa Duch.*), сорт, генотип, аромат плодов, метилантранилат, молекулярные маркеры.

Для цитирования: Лыжин А. С., Лукьянчук И. В. Идентификация гена биосинтеза метилантранилата (*FanAAMT*) в геноплазме сортов земляники садовой // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 63–69. DOI: 10.5281/zenodo.7898457. EDN: IOHVNY.

For citation: Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V. Identification of methyl anthranilate biosynthesis gene (*FanAAMT*) in the genoplasm of strawberry varieties // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 1(33). P. 63–69. DOI: 10.5281/zenodo.7898457. EDN: IOHVNY.

Введение

Земляника садовая – популярная во всём мире ягодная культура. Потребителями она ценится за богатый насыщенный вкус с характерным приятным ароматом. Аромат

плодов является характерным признаком генотипа (сорта) и обусловлен накоплением в плодах в процессе их созревания комплекса низкомолекулярных летучих органических веществ, обладающих ароматическими свойствами. Содержание ароматических компонентов составляет от 0,001 % до 0,01 % массы плода [1–3]. Для земляники идентифицировано свыше 360 химических веществ, участвующих в формировании аромата плодов. Вклад отдельных соединений в общее восприятие аромата варьирует, однако наиболее важными являются 20 соединений. Самую большую группу ароматообразующих соединений (до 90 % от общего содержания) составляют сложные эфиры, главным образом метиловые и этиловые [4, 5]. Метиловый эфир антраниловой кислоты (метил-2-аминобензоат, метилантранилат) придаёт плодам земляники характерный «земляничный» аромат, однако у культивируемых сортов он встречается редко [6, 7].

Содержание метилантранилата в плодах земляники определяется соотношением генотипических факторов и влиянием условий окружающей среды, однако вклад генотипа преобладает [8, 9]. Это позволяет выявлять генетические источники и доноры высокого уровня признака, проводить направленные скрещивания. Генетическое детерминирование аромата плодов земляники изучено недостаточно. Биосинтез большинства летучих ароматообразующих веществ контролируется полигенно и обусловлен взаимодействием многих генетических факторов. Однако для некоторых соединений выявлены главные гены (или гены-кандидаты), вносящие основной вклад в формирование признака. К их числу относятся: мезифуран [10], γ -декалактон [11], метилантранилат [12]. Главной генетической детерминантой, определяющей содержание метилантранилата в плодах земляники, является ген *FanAAMT* (contig 1885). Ген *FanAAMT* кодирует фермент метилтрансферазу антраниловой кислоты, катализирующей реакцию биосинтеза метилантранилата из S-аденозил-L-метионина и антранилата. Направленное блокирование транскрипции гена *FanAAMT* приводит к практически полному прекращению накопления метилантранилата в плодах [12].

В настоящее время качеству плодов (привлекательность, органолептические свойства, биохимический состав) вновь создаваемых сортов уделяется особое внимание [13–15] и поэтому многие современные селекционные программы по землянике предусматривают улучшение аромата плодов, в том числе и на основе разработанных диагностических ДНК-маркеров в рамках маркер-опосредованного скрининга [16, 17].

Цель исследований – маркер-опосредованный скрининг сортов земляники генетической коллекции «ФНЦ им. И. В. Мичурина» по гену *FanAAMT*, вовлечённому в контроль детерминации метилантранилата, для выявления форм, перспективных для селекции на аромат плодов.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в 2022–2023 гг. В качестве биологических объектов использованы сорта земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) селекции ФГБНУ «ФНЦ им. И. В. Мичурина», а также интродуцированные из различных эколого-географических регионов происхождения (таблица 1).

Геномную ДНК земляники выделяли из молодых листьев, экстракцию проводили СТАВ методом, модифицированном для культуры земляники.

Для выявления в геноплазме земляники целевого аллеля гена *FanAAMT* использовали праймеры *FanAAMT* (for 5'-ggg att gaa tgc aat ttg tct att ttg cct ttt ttt ctg ta-3, rev 5'-gaa cac tag cat ccc aat cca-3), продуктами амплификации которых являются фрагменты размером 350 и около 1500 п.н. Функциональному аллелю гена

FanAAMT (высокий уровень биосинтеза метилантранилата) на электрофореграмме соответствует ампликон размером 1500 п.н. [12].

Таблица 1 – Анализируемые сорта земляники садовой

Сорт	Комбинация скрещивания	Оригинатор, страна происхождения
Альфа	Фестивальная ромашка × Сюрприз олимпиаде	ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», Россия
Берегиня	Соловушка × Induka	
Кокинская заря	Славутич × 157-7	
Славутич	Фестивальная ромашка × Сюрприз олимпиаде	ФГБНУ «Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина», Россия
Памяти Зубова	[Фейерверк × (Belrubi × <i>F. ovalis</i> Rydb.)] × Holiday	
Ласточка	922-67 × Привлекательная	
Рубиновый каскад		
Елизавета 2	Клон сорта Queen Elizabeth	ООО НПФ «Донской питомник», Россия
Юниол	Нет доступной информации	ФГБУН «Ордена трудового красного знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», Крым, Россия
Albion	Diamante × Cal 94.16-1	University of California Davis, США
Amy	Нет доступной информации	Mazzoni Group, Италия
Aprica	Нет доступной информации	Consorzio Italiano Vivaisti (CIV), Италия
Joly	T2-6 × A20-17	
Murano	R6R1-26 × A030-12	
Vivara	Нет доступной информации	
Brilla	FC 04.256.32	CRA-Unità di Ricerca per la Frutticoltura, Италия
Limalexia	E0011 × E0021	Limgroup, Нидерланды
Rumba	Нет доступной информации	Fresh Forward B.V., Нидерланды
Faith	Нет доступной информации	Flevo Berry, Нидерланды
Sonsation	Нет доступной информации	
Driscoll Jubilee	50C130 × 19A331	Driscoll's, Великобритания

Контролем присутствия в геноме гена *FanAAMT* являлся дикорастущий вид *F. vesca* L. (земляника лесная), плоды которого характеризуются высоким уровнем накопления метилантранилата [8] что подтверждено методом молекулярно-генетического анализа [18].

Полимеразную цепную реакцию проводили в термоциклере T100 (Bio-Rad, США) по описанной ранее [19] программе.

Разделение продуктов амплификации осуществляли методом электрофореза в 2 % агарозном геле. Оценку размера амплифицированных продуктов проводили с использованием маркера молекулярного веса Gene Ruler 100 bp Plus DNA Ladder (Thermo Fisher Scientific, США).

Сопоставление частоты встречаемости гена *FanAAMT* в геноплазме сортов земляники отечественной и зарубежной селекции проводили с использованием критерия Стьюдента для неравновеликих выборок.

Результаты и их обсуждение

В анализируемой коллекции земляники садовой маркерный фрагмент гена *FanAAMT* выявлен у сортов Елизавета 2, Ласточка, Рубиновый каскад, Славутич (отечественной селекции), Amy, Joly, Limalexia, Rumba (зарубежной селекции), что составляет 38,1 % от общего количества генотипов. Среди сортов отечественной селекции ген *FanAAMT* присутствует у 44,4 % генотипов, среди сортов зарубежной

селекции – у 33,3 % форм. Пример идентификации представлен на рисунке 1, результаты – в таблице 2.

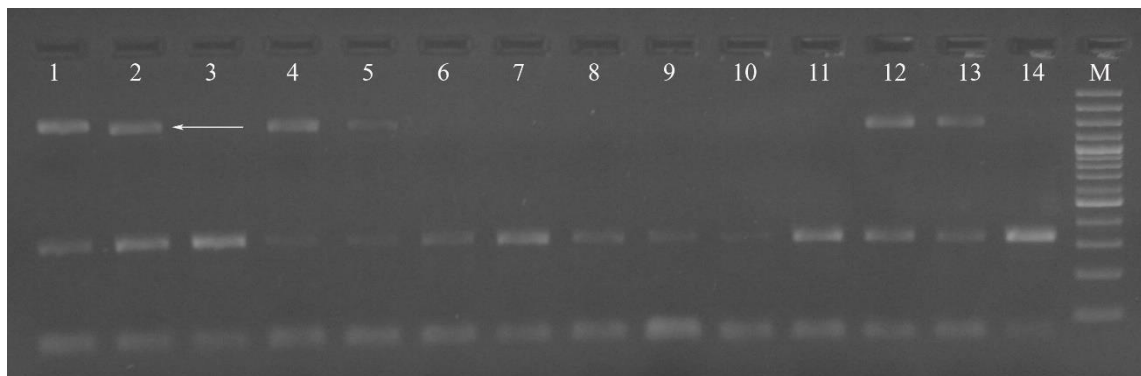


Рисунок 1 – Электрофоретический профиль маркерных фрагментов гена *FanAAMT* у сортов земляники садовой: 1 – *F. vesca* (контроль), 2 – Amy, 3 – Берегиня, 4 – Limalexia, 5 – Славутич, 6 – Альфа, 7 – Aprica, 8 – Brilla, 9 – Памяти Зубова, 10 – Vivara, 11 – Sonsation, 12 – Рубиновый каскад, 13 – Joly, 14 – Faith; М – маркер молекулярного веса ДНК.

Таблица 2 – Результаты маркер-опосредованного скрининга сортов земляники садовой по гену аромата плодов *FanAAMT*

№	Сорт	Ген <i>FanAAMT</i>	
		350 п.н.	1500 п.н.
1	<i>F. vesca</i> L. (контроль)		
2	Альфа	+	
3	Берегиня	+	
4	Елизавета 2	+	+
5	Кокинская заря	+	
6	Ласточка	+	+
7	Памяти Зубова	+	
8	Рубиновый каскад	+	+
9	Славутич	+	+
10	Юниол	+	
11	Albion	+	
12	Amy	+	+
13	Aprica	+	
14	Brilla	+	
15	Driscoll Jubilee	+	
16	Faith	+	
17	Joly	+	+
18	Limalexia	+	+
19	Murano	+	
20	Rumba	+	+
21	Sonsation	+	
22	Vivara	+	

Различия в распространении функционального аллеля гена *FanAAMT* среди отечественных и зарубежных сортов являются статистически недостоверными (при уровне значимости $p \leq 0,05$ $t_{\text{факт}} = 0,3 \leq t_{\text{ст}} = 4,3$). В проведённом ранее исследовании [18] функциональный аллель гена *FanAAMT* был идентифицирован у 31,6 % сортов, доля отечественных сортов с геном *FanAAMT* составила 27,3 %, зарубежных – 37,5 %, при этом различия также были статистически недостоверны.

Анализ происхождения анализируемых сортов земляники показал, что для родительских форм генотипов с идентифицированным геном *FanAAMT* данных о наличии или отсутствии целевого ампликона маркера *FanAAMT* или интенсивности биосинтеза метилантранилата нет. Поэтому для выявления исходных источников гена *FanAAMT* необходимо проведение дополнительных исследований. Необходимо отметить, что сорта Ласточка и Рубиновый каскад селекции ФНЦ им. И. В. Мичурина выделены в одной комбинации скрещивания – 922-67 × Привлекательная, поэтому, предположительно, ген *FanAAMT* был ими унаследован от одной и той же родительской формы. Сорта Славутич и Альфа также получены с использованием одних и тех же родительских форм – сортов Фестивальная ромашка и Сюрприз олимпиаде. При этом у одного сорта (Славутич) ген *FanAAMT* присутствует, а у другого (Альфа) – нет. Кроме того, с использованием сорта Славутич в качестве исходной родительской формы получен сорт Кокинская заря (Славутич × 157-7), который, согласно данным молекулярно-генетического анализа, не имеет ген *FanAAMT*. Полученные результаты свидетельствуют о гетерозиготном сочетании аллелей гена *FanAAMT* у сорта Славутич.

Сорт Ласточка характеризуется гомозиготным состоянием функционального аллеля гена *FaOMT*, вовлечённого в детерминацию биосинтеза мезифурана, а функциональный аллель гена *FaFAD1* (биосинтез γ -декалактона) отсутствует [19]. Таким образом, сорт земляники садовой Ласточка (922-67 × Привлекательная) является перспективным источником функциональных аллелей двух генов ароматического комплекса плодов – *FanAAMT* (биосинтез метилантранилата) и *FaOMT* (биосинтез мезифурана).

Выводы

С использованием молекулярных маркеров ген *FanAAMT*, вовлечённый в детерминацию аромата плодов земляники (кодирует метилтрансферазу антраниловой кислоты), идентифицирован у 38,1 % форм, причём целевой аллель гена выявлен как среди генотипов отечественной селекции, так и среди зарубежных сортов. При этом статистически значимых различий между выборками российских и зарубежных сортов не установлено ($t_{\text{факт}} = 0,3 \leq t_{\text{ст}} = 4,3$). Источниками функционального аллеля гена *FanAAMT* для селекции являются сорта: Елизавета 2, Рубиновый каскад, Славутич, Аму, Joly, Limalexia, Rumba. Сорт Ласточка (922-67 × Привлекательная), созданный в ФНЦ им. И. В. Мичурина, является комплексным источником генов аромата плодов – *FanAAMT* (биосинтез метилантранилата) и *FaOMT* (биосинтез мезифурана).

Литература/References

1. Forney C. F., Kalt W., Jordan M. A. The composition of strawberry aroma is influenced by cultivar, maturity, and storage // HortScience. 2000. No. 35(6). P. 1022–1025. DOI: 10.21273/HORTSCI.35.6.1022.
2. Yan J. W., Ban Z. J., Lu H. Y., Li D., Poverenov E., Luo Z. S., Li L. The aroma volatile repertoire in strawberry fruit: a review // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2018. No. 98(12). P. 4395–4402. DOI: 10.1002/jsfa.9039.
3. Padilla-Jiménez S. M., Angoa-Pérez M. V., Mena-Violante H. G., Oyoque-Salcedo G., Montañez-Soto J. L., Oregel-Zamudio E. Identification of organic volatile markers associated with aroma during maturation of strawberry fruits // Molecules. 2021. No. 26(2). P. 504. DOI: 10.3390/molecules26020504.
4. Fan Z., Hasing T., Johnson T.S., Garner D. M., Schwieterman M. L., Barbey C. R., Colquhoun T. A., Sims C. A., Resende M. F. R., Whitaker V. M. Strawberry sweetness and consumer preference are enhanced by specific volatile compounds // Horticulture Research. 2021. Vol. 8. DOI: 10.1038/s41438-021-00664-2.

5. Li Y., Zhang Y., Liu X., Xiao Y., Zhang Z., Shi Y., Kong W., Yang X., Jiang G., Zhang B., Chen K. Cultivation conditions change aroma volatiles of strawberry fruit // *Horticulturae*. 2021. Vol. 7. P. 81. DOI: 10.3390/horticulturae7040081.
6. Ulrich D., Hoberg E., Rapp A., Kecke S. Analysis of strawberry flavor –discrimination of aroma types by quantification of volatile compounds // *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*. 1997. No. 205(3). P. 218–223. DOI: 10.1007/s002170050154.
7. Olbricht K., Grafe C., Weiss K., Ulrich D. Inheritance of aroma compounds in a model population of *Fragaria* × *ananassa* Duch. // *Plant breeding*. 2008. No. 127(1). P. 87–93. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2007.01422.x.
8. Urrutia M., Rambla J. L., Alexiou K. G., Granell A., Monfort A. Genetic analysis of the wild strawberry (*Fragaria vesca*) volatile composition // *Plant Physiol. Bioch.* 2017. Vol. 121. P. 99–117. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.10.015.
9. Ulrich D., Kecke S., Olbricht K. What do we know about the chemistry of strawberry aroma? // *J. Agric. Food Chem.* 2018. Vol. 66. P. 3291–3301. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b01115.
10. Zorrilla-Fontanesi Y., Rambla J. L., Cabeza A., Medina J. J., Sánchez-Sevilla J. F., Valpuesta V., Botella M. A., Granell A., Amaya I. Genetic analysis of strawberry fruit aroma and identification of O-methyltransferase *FaOMT* as the locus controlling natural variation in mesifurane content // *Plant Physiology*. 2012. No. 159(2). P. 851–870. DOI: 10.1104/pp.111.188318.
11. Chambers A. H., Pillet J., Plotto A., Bai J., Whitaker V. M., Folta K. M. Identification of a strawberry flavor gene candidate using an integrated genetic-genomic-analytical chemistry approach // *BMC Genomics*. 2014. No. 15(1). P. 217. DOI: 10.1186/1471-2164-15-217.
12. Pillet J., Chambers A. H., Barbey C., Bao Z., Plotto A., Bai J., Schwieterman M., Johnson T., Harrison B., Whitaker V. M., Colquhoun T. A., Folta K. M. Identification of a methyltransferase catalyzing the final step of methyl anthranilate synthesis in cultivated strawberry // *BMC Plant Biology*. 2017. No. 17(1). P. 1–12. DOI: 10.1186/s12870-017-1088-1.
13. Giampieri F., Tulipani S., Alvarez-Suarez J. M., Quiles J. L., Mezzetti B., Battino M. The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health // *Nutrition*. 2012. No. 28(1). P. 9–19. DOI: 10.1016/j.nut.2011.08.009.
14. Mezzetti B., Giampieri F., Zhang Y. T., Zhong C. F. Status of strawberry breeding programs and cultivation systems in Europe and the rest of the world // *Journal of Berry Research*. 2018. No. 8(3). P. 205–221. DOI: 10.3233/jbr-180314.
15. Luk'yanchuk I. V., Zhbanova E. V., Lyzhin A. S. Determining consumer appeal of selected garden strawberry varieties (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. No. 14(4). P. 228–241. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-4-228-241.
16. Whitaker V. M. Applications of molecular markers in strawberry // *Journal of Berry Research*. 2011. Vol. 1. P. 115–127. DOI: 10.3233/BR-2011-013.
17. Barbey C. R., Hogshead M. H., Harrison B., Schwartz A. E., Verma S., Oh Y., Lee S., Folta K. M., Whitaker V. M. Genetic analysis of methyl anthranilate, mesifurane, linalool, and other flavor compounds in cultivated strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) // *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. P. 615749. DOI: 10.3389/fpls.2021.615749.
18. 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. Т. 182. №2. С. 72–80. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-72-80. [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. Vol. 182. No. 2. P. 72–80. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-72-80].
19. Lyzhin A. S., Luk'yanchuk I. V., Zhbanova 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. Vol. 24. No. 1. P. 5–11. DOI: 10.18699/VJ20.588.

UDC 634.75:577.2:575.22

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

IDENTIFICATION OF METHYL ANTHRANILATE BIOSYNTHESIS GENE (*FANAAMT*) IN THE GENOPLASM OF STRAWBERRY VARIETIES

Summary. *Fruit aroma is an important consumer trait of strawberry varieties. It is accumulated in the fruit during ripening and is due to a combination of large quantities of volatile aroma-forming organic compounds. One of the most important aroma-forming*

compounds is anthranilic acid methyl ester (methyl anthranilate). However, many modern strawberry varieties are characterized by low methyl anthranilate content in fruits. The purpose of the study was marker-assisted screening of strawberry varieties from the genetic collection of FSSI “I. V. Michurin Federal Scientific Center” (hereinafter “I. V. Michurin FSC”) by the *FanAAMT* gene involved in the control of methyl anthranilate determination (encodes anthranilic acid methyltransferase) to identify forms promising in breeding for fruit aroma. The studies were carried out in 2022–2023. Strawberry varieties (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) created at “I. V. Michurin FSC”, as well as those introduced from various ecological and geographical regions of origin, were used as biological objects. Target allele of the *FanAAMT* gene in strawberry genoplasm was identified by *FanAAMT* primers. Wild species of *Fragaria vesca* L. served as a positive control. As a result of the research, the 1500 bp target amplicon, corresponding to the functional allele of the *FanAAMT* gene, was identified in 38.1 % of studied forms. Among the Russian strawberry varieties, the *FanAAMT* gene was present in 44.4 % of genotypes, among varieties of foreign breeding – in 33.3 % of forms. No statistically significant differences between the samples of Russian and foreign varieties were found ($t_{\text{fact}} = 0.3 \leq t_{\text{st}} = 4.3$). The sources of the functional allele of the *FanAAMT* gene for breeding are varieties ‘Elizaveta 2’, ‘Rubinovy kaskad’, ‘Slavutich’, ‘Amy’, ‘Joly’, ‘Limalexia’ and ‘Rumba’. Strawberry variety ‘Lastochka’ (922-67 × ‘Privlekatelnaya’), created at “I.V. Michurin FSC”, is a complex source of fruit aroma genes, namely *FanAAMT* (methyl anthranilate biosynthesis) and *FaOMT* (mesifurane biosynthesis). In the rest of the analyzed strawberry genotypes, target amplicon of the marker *FanAAMT* was not detected indicating the absence of *FanAAMT* gene.

Keywords: strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.), variety, genotype, fruit aroma, methyl anthranilate, molecular markers.

Лыжин Александр Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии устойчивости и геномных технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина»; 393760 г. Мичуринск, Тамбовская обл., ул. Мичурина, 30; e-mail: Ranenburzhetc@yandex.ru.

Лукьянчук Ирина Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории частной генетики и селекции, ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина»; 393760 г. Мичуринск, Тамбовская обл., ул. Мичурина, 30; e-mail: irina.lk2011@yandex.ru.

Lyzhin Aleksandr Sergeevich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of Laboratory of physiology of resistance and genomic technologies, FSSI “I.V. Michurin Federal Scientific Center”; 30, Michurina str., Michurinsk, Tambov region, 393774, Russia; e-mail: Ranenburzhetc@yandex.ru

Luk'yanchuk Irina Vasilievna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of Laboratory of private genetics and breeding, FSSI “I.V. Michurin Federal Scientific Center”; 30, Michurina str., Michurinsk, Tambov region, 393774, Russia; e-mail: irina.lk2011@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 02.02.2023.

Дата принятия к печати – 22.02.2023.