

УДК 634.75:577.2:632.4

UDC 634.75:577.2:632.4

DOI 10.30679/2219-5335-2022-4-76-102-110

DOI 10.30679/2219-5335-2022-4-76-102-110

**МОЛЕКУЛЯРНЫЙ СКРИНИНГ
СОРТОВ И ФОРМ
ЗЕМЛЯНИКИ СЕЛЕКЦИИ
«ФНЦ им. И.В. МИЧУРИНА»
ПО ГЕНУ *FaFAD1*
АРОМАТА ПЛОДОВ**

**MOLECULAR SCREENING
OF STRAWBERRY VARIETIES
AND FORMS CREATED
IN «I.V. MICHURIN FSC»
BY THE *FaFAD1* GENE
OF FRUIT AROMA**

Лыжин Александр Сергеевич
канд. с.-х. наук
ведущий научный сотрудник
лаборатории физиологии устойчивости
и геномных технологий

Lyzhin Alexandr Sergeyeovich
Cand. Agr. Sci.
Leading Research Associate
of Resistance Physiology
and Genomic Technologies Laboratory

Лукьянчук Ирина Васильевна
канд. с.-х. наук
старший научный сотрудник
лаборатории частной генетики
и селекции

Luk'yanchuk Irina Vasilevna
Cand. Agr. Sci.
Senior Research Associate
of Private Genetics and Breeding
Laboratory

*Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
«ФНЦ имени И.В. Мичурина»,
Мичуринск, Россия*

*Federal State Budget
Scientific Institution
«I.V. Michurin FSC»,
Michurinsk, Russia*

Аромат плодов – важный потребительский признак сортов земляники. К числу наиболее важных ароматообразующих веществ, содержащихся в плодах земляники относится γ -декалактон, обладающий персиково-подобным, фруктовым сладким ароматом. В представленном исследовании показаны результаты молекулярно-генетического анализа сортов и отборных форм земляники, созданных в «ФНЦ им. И.В. Мичурина», по гену *FaFAD1*, вовлечённому в биосинтез γ -декалактона, для идентификации генотипов, перспективных для селекции на аромат плодов. Биологическими объектами исследования являлись сорта и отборные формы земляники селекции «ФНЦ им. И.В. Мичурина»: Ласточка, Привлекательная, Урожайная ЦГЛ, 61-12 (Былинная \times Олимпийская надежда), 72-25 (Privlekatelnaya \times Bylinnaya), 928-12 (298-19-9-43 \times Привлекательная),

The aroma of fruits is an important consumer trait of strawberry varieties. Among the most important aromatic substances contained in strawberry fruits is γ -decalactone, which has a peach-like, fruity sweet aroma. The present study shows the results of the molecular genetic analysis of strawberry varieties and selected forms created in the "I.V. Michurin Federal Scientific Center", according to the *FaFAD1* gene involved in the biosynthesis of γ -decalactone, to identify promising genotypes for breeding to fruit aroma. The biological objects of the study were strawberry varieties and selected forms of the breeding "I.V. Michurin FSC": Lastochka, Privlekatelnaya, Urozhaynaya CGL, Feyyerverk, Flora, Yarkaya, 26-5 (Rubinovyy kulon \times 298-19-9-43), 56-5, 56-8 (Gigantella Maxim \times Privlekatelnaya), 61-12 (Bylinnaya \times Olimpiyskaya nadezhda), 72-25 (Privlekatelnaya \times Bylinnaya),

932-29 (*F. virginiana* subsp. *platypetala* (Rydb.) Staudt × Фейерверк), 298-19-9-43 (FB₂ *F. orientalis* Los., *F. moschata* Duch., *F. × ananassa* Duch.). Экстракция геномной ДНК проводилась из молодых листьев согласно модифицированному методу СТАВ. Для идентификации гена *FaFAD1* использовали доминантный ДНК маркер *FaFAD1*. В результате проведённых исследований идентифицированы перспективные для селекции на улучшенный аромат плодов отборные формы земляники: 72-25 (Привлекательная × Былинная), 56-8 (*Gigantella Maxim* × Привлекательная), 61-12 (Былинная × Олимпийская надежда), характеризующиеся наличием функционального аллеля гена *FaFAD1*. Отборная форма 72-25 (Привлекательная × Былинная) дополнительно характеризуется наличием гена *FaOMT* в гетерозиготном состоянии, являясь тем самым комплексным источником генов аромата плодов (*FaOMT* и *FaFAD1*).

Ключевые слова: ЗЕМЛЯНИКА, МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МАРКЕРЫ, АРОМАТ ПЛОДОВ, ГЕН *FAFAD1*

928-12 (298-19-9-43 × Привлекательная), 932-29 (*F. virginiana* subsp. *platypetala* (Rydb.) Staudt × Feeyerverk) and 298-19-9-43 (FB₂ *F. orientalis* Los., *F. moschata* Duch., *F. × ananassa* Duch.). Genomic DNA extraction was carried out from young leaves according to the modified CTAB method. The *FaFAD1* gene was identified with dominant DNA marker *FaFAD1*. As the result of the molecular genetic research, the following strawberry selected forms, promising for breeding to improved fruit aroma, were identified: 72-25 (Привлекательная × Былинная), 56-8 (*Gigantella Maxim* × Привлекательная), 61-12 (Былинная × *Olimpiyskaya nadezhda*), which are characterized by the presence of a functional allele of the *FaFAD1* gene. The strawberry selected form 72-25 (Привлекательная × Былинная) is additionally characterized by the presence of the *FaOMT* gene in the heterozygous state, so this form is a complex source of fruit aroma genes (*FaOMT* and *FaFAD1*).

Key words: STRAWBERRY, MOLECULAR MARKERS, FRUIT AROMA, *FAFAD1* GENE

Введение. Аромат плодов – важная потребительская характеристика плодов земляники [1-3]. Характер и выраженность аромата плодов является сортоспецифичным признаком, который обусловлен сочетанием большого количества летучих ароматообразующих органических веществ. К настоящему времени в плодах земляники идентифицировано свыше 360 соединений ароматического комплекса [4-6].

К числу наиболее важных ароматообразующих веществ, содержащихся в плодах земляники, относится γ -декалактон, обладающий персико-подобным, фруктовым сладким ароматом [7, 8]. Биосинтез γ -декалактона в плодах контролируется несколькими генетическими факторами, из которых главную роль играет ген *FaFAD1*, локализованный в дистальном рай-

оне длинного плеча хромосомы III-2 генома *F. × ananassa* Duch. [9]. Установлено, что в 93,3 % случаев высокое содержание γ -декалактона в плодах детерминировано экспрессией гена *FaFAD1* [10]. При этом для гена *FaFAD1* выявлено наличие одного только функционального аллеля *FaFAD1*, определяющего высокий уровень накопления γ -декалактона.

У форм земляники, в плодах которых γ -декалактон не продуцируется, либо отсутствует функциональный аллель, либо произошла блокировка транскрипции мРНК гена *FaFAD1* [11].

Идентификация главных детерминант данного признака позволила разработать сцепленные с функциональным аллелем диагностические молекулярные маркеры, в связи с чем возможна идентификация перспективных форм методом ДНК-анализа в рамках стратегии маркеропосредованной селекции [11-13].

Однако у многих современных сортов земляники, особенно зарубежной селекции вследствие их генетической близости из-за широкого использования в селекции одних и тех же родительских форм [14], плоды характеризуются слабым, невыраженным ароматом, так как до недавнего времени данный признак не считался селекционно-значимым и был элиминирован в процессе генетико-селекционного совершенствования сортимента [15, 16].

Целью настоящего исследования являлся молекулярно-генетический анализ сортов и отборных форм земляники, созданных в «ФНЦ им. И.В. Мичурина», по гену *FaFAD1*, вовлечённому в биосинтез γ -декалактона, для идентификации генотипов, перспективных для селекции на аромат плодов.

Объекты и методы исследований. Биологическими объектами исследования являлись сорта, перспективные элитные и отборные формы земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.), созданные в Федеральном научном центре им. И.В. Мичурина с использованием методов межвидовой и межсортовой (в пределах вида *F. × ananassa* Duch.) гибридизации (табл. 1).

Таблица 1 – Анализируемые генотипы земляники

Сорт	Комбинация скрещивания
Ласточка	922-67 × Привлекательная
Привлекательная	Рубиновый кулон × Allbritton
Урожайная ЦГЛ	Senga Sengana × Redcoat
Фейерверк	
Флора	
Яркая	
26-5	Рубиновый кулон × 298-19-9-43
56-5	Gigantella Maxim × Привлекательная
56-8	
61-12	Былинная × Олимпийская надежда
72-25	Привлекательная × Былинная
928-12	298-19-9-43 × Привлекательная
932-29	<i>F. virginiana</i> subsp. <i>platypetala</i> (Rydb.) Staudt × Фейерверк
298-19-9-43	FB ₂ <i>F. orientalis</i> Los., <i>F. moschata</i> Duch., <i>F.</i> × <i>ananassa</i> Duch.

Экстракция тотальной ДНК осуществлялась из молодых активно растущих листьев согласно оптимизированному для культуры земляники методу СТАВ [17].

Идентификацию в геноплазме земляники гена *FaFAD1* проводили с использованием доминантного маркера *FaFAD1* (for 5'-CGGGATTAATGGTTTTGTTGTTGACCGACC-3', rev 5'-GTAGAAGAGAGAGACCAAGACGAG-3'). Праймеры для молекулярно-генетического анализа синтезированы в ЗАО Синтол, Россия. Целевым продуктом маркера *FaFAD1* является ампликон размером 500 п.н., который соответствует функциональному аллелю гена *FaFAD1* [11]. Контролем наличия в геноме анализируемых форм земляники целевого аллеля гена *FaFAD1* являлся дикорастущий вид *Fragaria moschata* Duch. [18].

Реакционная смесь для ПЦР общим объемом 15 мкл содержала: 1,5 мМ 10x Таq-буфера (+ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, - MgCl_2), 2,0 мМ dNTPs, 2,5 мМ MgCl_2 , 10 пМ каждого праймера, 0,2 U Таq-полимеразы и 20 нг геномной ДНК. Все компоненты произведены фирмой Thermo Fisher Scientific, США.

Полимеразную цепную реакцию проводили в термоциклере T100 (BIO-RAD, США) по следующей программе: начальная денатурация 4 мин при 94 °С; далее 25 циклов: денатурация 30 с при 94 °С, отжиг праймеров 30 с при 56 °С, элонгация 30 с при 72 °С; далее финальная элонгация 10 мин при 72 °С.

Разделение продуктов амплификации осуществляли методом электрофореза в агарозном геле (концентрация агарозы – 2 %, буферная система – 1x TBE (трис-боратный буфер), напряженность электрического поля при электрофорезе – 3,9-4,5 В/см). Определение размера ампликонов проводили с использованием Gene Ruler 100 bp DNA Ladder (Thermo Fisher Scientific, США).

Обсуждение результатов. Согласно проведенным исследованиям, маркер *FaFAD1*, сцепленный с функциональным аллелем гена *FaFAD1*, идентифицирован у отборных форм земляники межсортового происхождения 56-8 (*Gigantella Maxim* × Привлекательная), 61-12 (Былинная × Олимпийская надежда), и 72-25 (Привлекательная × Былинная). Необходимо также отметить, что отборная форма 72-25 (Привлекательная × Былинная) дополнительно характеризуется наличием гена *FaOMT* в гетерозиготном состоянии [19, 20], являясь тем самым комплексным источником генов аромата плодов (*FaOMT* и *FaFAD1*).

У изучаемых сортов земляники селекции «Федерального научного центра имени И.В. Мичурина» и отборных форм 26-5 (Рубиновый кулон × 298-19-9-43), 56-5 (*Gigantella Maxim* × Привлекательная), 928-12 (298-19-9-43 × Привлекательная), 932-29 (*F. virginiana* subsp. *platypetala* (Rydb.) Staudt × Фейерверк), 298-19-9-43 (FB₂ *F. orientalis* Los., *F. Moschata* Duch., *F. × ananassa* Duch.) молекулярно-генетический анализ показал отсутствие маркера *FaFAD1* в генотипе (табл. 2). Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии γ-декалактона в плодах указанных генотипов земляники.

Таблица 2 – Результаты молекулярного скрининга генотипов земляники селекции «ФНЦ им. И.В. Мичурина» по гену *FaFAD1*

Сорт, отборная форма	<i>FaFAD1</i> 500 п.н.
Ласточка	0
Привлекательная	0
Урожайная ЦГЛ	0
Фейерверк	0
Флора	0
Яркая	0
26-5	0
56-5	0
56-8	1
61-12	1
72-25	1
928-12	0
932-29	0
298-19-9-43	0

Анализ происхождения отборных форм с идентифицированным маркером *FaFAD1* показал, что они выделены в комбинациях скрещивания, где по результатам проведённого ранее молекулярно-генетического анализа [18] одна из родительских форм характеризуется наличием гена *FaFAD1*. В комбинации скрещивания *Gigantella Maxim* × Привлекательная (отборная форма 56-8) это сорт *Gigantella Maxim*, в гибридных комбинациях Былинная × Олимпийская надежда (отборная форма 61-12) и Привлекательная × Былинная (отборная форма 72-25) – это сорт Былинная.

При этом отборные формы 56-5, 298-19-9-43, 928-12, 26-5, созданные с привлечением идентифицированных источников гена *FaFAD1* (сорт *Gigantella Maxim*, дикорастущие виды *F. orientalis* Los., *F. moschata* Duch.), маркер *FaFAD1* не унаследовали (γ -декалактон в плодах не продуцируется).

Заключение. Таким образом, на основании проведённого молекулярно-генетического анализа сортов и гибридных форм земляники по маркеру *FaFAD1*, сцепленному с геном *FaFAD1* биосинтеза γ -декалактона в плодах, идентифицированы перспективные для селекции на улучшенный аромат плодов отборные формы земляники: 72-25 (Привлекательная × Бы-

линная), 56-8 (*Gigantella Maxim* × Привлекательная), 61-12 (Былинная × Олимпийская надежда), характеризующиеся наличием функционального аллеля гена *FaFAD1*.

Литература

1. de Resende, J.T.V. Sensory analysis and chemical characterization of strawberry fruits / J.T.V. de Resende, L.K. Camargo, E.J. Argandoña, A. Marchese, C.K. Camargo // *Horticultura Brasileira*, 2008. – V. 26(3). – P. 371-374.
2. Ulrich, D. What do we know about the chemistry of strawberry aroma? / D. Ulrich, S. Kecke, K. Olbricht // *Journal of agricultural and food chemistry*, 2018. – V. 66(13). – P. 3291-3301. Doi:10.1021/acs.jafc.8b01115.
3. Yan, J.W. The aroma volatile repertoire in strawberry fruit: A review. / J.W. Yan, Z.J. Ban, H.Y. Lu, D. Li, E. Poverenov, Z.S. Luo, L. Li // *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018. – V. 98(12). – P. 4395-4402. Doi: 10.1002/jsfa.9039.
4. Raab, T.L. FaQR, required for the biosynthesis of the strawberry flavor compound 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone, encodes an enone oxidoreductase / T.L. Raab, J.A. López-Ráez, D. Klein, J.L. Caballero, E. Moyano, W. Schwab, J. Muñoz-Blanco // *Plant Cell*, 2006. – V. 18. – P. 1023-1037. Doi: 10.1105/tpc.105.039784.
5. El Hadi, M.A.M. Advances in fruit aroma volatile research. / M.A.M. El Hadi, F.J. Zhang, F.F. Wu, C.H. Zhou, J. Tao // *Molecules*, 2013. – V. 18(7). – P. 8200-8229. Doi: 10.3390/molecules18078200.
6. Ulrich, D. A search for the ideal flavor of strawberry – Comparison of consumer acceptance and metabolite patterns in *Fragaria* × *ananassa* Duch. / D. Ulrich, K. Olbricht // *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 2016. – V. 89. – P. 223-234. Doi: 10.5073/JABFQ.2016.089.029.
7. Urrutia, M. Genetic analysis of the wild strawberry (*Fragaria vesca*) volatile composition / M. Urrutia, J.L. Rambla., K.G. Alexiou, A. Granell // *Plant Physiol. Bioch.*, 2017. – V. 121. – P. 99-117. Doi: 10.1016/j.plaphy.2017.10.015.
8. Oh, Y. Genomic characterization of the fruity aroma gene, *FaFAD1*, reveals a gene dosage effect on γ -decalactone production in strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) / Y. Oh, C.R. Barbey, S. Chandra, J. Bai, Z. Fan, A. Plotto, J. Pillet, K.M. Folta, V.M. Whitaker, S. Lee // *Frontiers in plant science*, 2021. – V. 12. – P. 639345. Doi: 10.3389/fpls.2021.639345.
9. Sánchez-Sevilla, J.F. Deciphering gamma-decalactone biosynthesis in strawberry fruit using a combination of genetic mapping, RNA-Seq and eQTL analyses / J.F. Sánchez-Sevilla, E. Cruz-Rus, V. Valpuesta, M.A. Botella, I. Amaya // *BMC genomics*, 2014. – V. 15(1). – P. 218. Doi: 10.1186/1471-2164-15-218.
10. Zorrilla-Fontanesi, Y. Genetic analysis of strawberry fruit aroma and identification of O-methyltransferase *FaOMT* as the locus controlling natural variation in mesifurane content / Y. Zorrilla-Fontanesi, J.L. Rambla, A. Cabeza, J.J. Medina, J.F. Sánchez-Sevilla, V. Valpuesta, M.A. Botella, A. Granell, I. Amaya // *Plant physiology*, 2012. – V. 159(2). – P. 851-870. Doi: 10.1104/pp.111.188318.
11. Chambers, A.H. Identification of a strawberry flavor gene candidate using an integrated genetic-genomic-analytical chemistry approach / A.H. Chambers, J. Pillet, A. Plotto, J. Bai, V.M. Whitaker, K.M. Folta // *BMC genomics*, 2014. – V. 15(1). – P. 217. Doi: 10.1186/1471-2164-15-217.
12. Cruz-Rus, E. Validation of a PCR test to predict the presence of flavor volatiles mesifurane and γ -decalactone in fruits of cultivated strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) / E. Cruz-Rus, R. Sesmero, J.A. Ángel-Pérez, J.F. Sánchez-Sevilla, D. Ulrich, I. Amaya // *Molecular breeding*, 2017. – V. 37(10). – P. 131. Doi: 10.1007/s11032-017-0732-7.

13. Youngjae, O. Genomic characterization of the fruity aroma gene, *FaFAD1*, reveals a gene dosage effect on γ -decalactone production in strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) / O. Youngjae, C. Saket, B. Jinhe, F. Zhen, P. Anne, L. Seonghee // *Frontiers in plant science*, 2021. – V. 12. – P. 639345. Doi: 10.3389/fpls.2021.639345.
14. Lei, J. Studies on the interspecific hybridization in the genus *Fragaria* / J. Lei, H. Dai, M. Deng, L. Wu, W. Hu // *Acta Horticulturae Sinica*, 2002. – V. 29(6). – P. 519-523.
15. Negri, A.S. Comparative analysis of fruit aroma patterns in the domesticated wild strawberries “Profumata di Tortona” (*F. moschata*) and “Regina delle Valli” (*F. vesca*) / A.S. Negri, D. Allegra, L. Simoni, F. Rusconi, C. Tonelli, L. Espen, M. Galbiati // *Frontiers in Plant Science*, 2015. – V. 6. – P. 56. Doi: 10.3389/fpls.2015.00056.
16. Зубкова, М.И., Макаркина М.А., Князев С.Д. Оценка сортов земляники по биохимическим и органолептическим качествам ягод в условиях Орловской области // *Вестник аграрной науки*, 2020. – № 4(85). – С. 9-15. Doi: 10.17238/issn2587-666X.2020.4.9.
17. Luk'yanchuk, I.V. Analysis of strawberry genetic collection (*Fragaria* L.) for *Rca2* and *Rpfl* genes with molecular markers / I.V. Luk'yanchuk, A.S. Lyzhin, I.I. Kozlova // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2018. – V. 22(7). – P. 795-799. Doi: 10.18699/VJ18.423.
18. Lyzhin, A.S. 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 / A.S. Lyzhin, I.V. Luk'yanchuk, E.V. Zhbanova // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2020. – V. 24(1). – P. 5-11. Doi: 10.18699/VJ20.588.
19. Лыжин А.С., Лукъянчук И.В. Анализ перспективных гибридных форм земляники по генам *FaOMT* и *FaFAD1* аромата плодов // *Таврический вестник аграрной науки*, 2021. – № 3(27). – С. 117-124. Doi: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-117-124.
20. Lyzhin, A. Marker-assisted screening of promising forms in the strawberry breeding / A. Lyzhin, I. Luk'yanchuk // *E3S Web of Conferences*, 2021. – V. 254. – P. 03002. Doi: 10.1051/e3sconf/202125403002.

References

1. de Resende, J.T.V. Sensory analysis and chemical characterization of strawberry fruits / J.T.V. de Resende, L.K. Camargo, E.J. Argandoña, A. Marchese, C.K Camargo // *Horticultura Brasileira*, 2008. – V. 26(3). – P. 371-374.
2. Ulrich, D. What do we know about the chemistry of strawberry aroma? / D. Ulrich, S. Kecke, K. Olbricht // *Journal of agricultural and food chemistry*, 2018. – V. 66(13). – P. 3291-3301. Doi:10.1021/acs.jafc.8b01115.
3. Yan, J.W. The aroma volatile repertoire in strawberry fruit: A review. / J.W. Yan, Z.J. Ban, H.Y. Lu, D. Li, E. Poverenov, Z.S Luo, L. Li // *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018. – V. 98(12). – P. 4395-4402. Doi: 10.1002/jsfa.9039.
4. Raab, T.L. FaQR, required for the biosynthesis of the strawberry flavor compound 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone, encodes an enone oxidoreductase / T.L. Raab, J.A. López-Ráez, D. Klein, J.L. Caballero, E. Moyano, W. Schwab, J. Muñoz-Blanco // *Plant Cell*, 2006. – V. 18. – P. 1023-1037. Doi: 10.1105/tpc.105.039784.
5. El Hadi, M.A.M. Advances in fruit aroma volatile research. / M.A.M. El Hadi, F.J. Zhang, F.F. Wu, C.H. Zhou, J. Tao // *Molecules*, 2013. – V. 18(7). – P. 8200-8229. Doi: 10.3390/molecules18078200.
6. Ulrich, D. A search for the ideal flavor of strawberry – Comparison of consumer acceptance and metabolite patterns in *Fragaria* × *ananassa* Duch. / D. Ulrich, K. Olbricht // *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 2016. – V. 89. – P. 223-234. Doi: 10.5073/JABFQ.2016.089.029.

7. Urrutia, M. Genetic analysis of the wild strawberry (*Fragaria vesca*) volatile composition / M. Urrutia, J.L. Rambla., K.G. Alexiou, A. Granell // Plant Physiol. Bioch., 2017. – V. 121. – P. 99-117. Doi: 10.1016/j.plaphy.2017.10.015.

8. Oh, Y. Genomic characterization of the fruity aroma gene, *FaFAD1*, reveals a gene dosage effect on γ -decalactone production in strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) / Y. Oh, C.R. Barbey, S. Chandra, J. Bai, Z. Fan, A. Plotto, J. Pillet, K.M. Folta, V.M. Whitaker, S. Lee // Frontiers in plant science, 2021. – V. 12. – P. 639345. Doi: 10.3389/fpls.2021.639345.

9. Sánchez-Sevilla, J.F. Deciphering gamma-decalactone biosynthesis in strawberry fruit using a combination of genetic mapping, RNA-Seq and eQTL analyses / J.F. Sánchez-Sevilla, E. Cruz-Rus, V. Valpuesta, M.A. Botella, I. Amaya // BMC genomics, 2014. – V. 15(1). – P. 218. Doi: 10.1186/1471-2164-15-218.

10. Zorrilla-Fontanesi, Y. Genetic analysis of strawberry fruit aroma and identification of O-methyltransferase *FaOMT* as the locus controlling natural variation in mesifurane content / Y. Zorrilla-Fontanesi, J.L. Rambla, A. Cabeza, J.J. Medina, J.F. Sánchez-Sevilla, V. Valpuesta, M.A. Botella, A. Granell, I. Amaya // Plant physiology, 2012. – V. 159(2). – P. 851-870. Doi: 10.1104/pp.111.188318.

11. Chambers, A.H. Identification of a strawberry flavor gene candidate using an integrated genetic-genomic-analytical chemistry approach / A.H. Chambers, J. Pillet, A. Plotto, J. Bai, V.M. Whitaker, K.M. Folta // BMC genomics, 2014. – V. 15(1). – P. 217. Doi: 10.1186/1471-2164-15-217.

12. Cruz-Rus, E. Validation of a PCR test to predict the presence of flavor volatiles mesifurane and γ -decalactone in fruits of cultivated strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) / E. Cruz-Rus, R. Sesmero, J.A. Ángel-Pérez, J.F. Sánchez-Sevilla, D. Ulrich, I. Amaya // Molecular breeding, 2017. – V. 37(10). – P. 131. Doi: 10.1007/s11032-017-0732-7.

13. Youngjae, O. Genomic characterization of the fruity aroma gene, *FaFAD1*, reveals a gene dosage effect on ζ -decalactone production in strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) / O. Youngjae, C. Saket, B. Jinhe, F. Zhen, P. Anne, L. Seonghee // Frontiers in plant science, 2021. – V. 12. – P. 639345. Doi: 10.3389/fpls.2021.639345.

14. Lei, J. Studies on the interspecific hybridization in the genus *Fragaria* / J. Lei, H. Dai, M. Deng, L. Wu, W. Hu // Acta Horticulturae Sinica, 2002. – V. 29(6). – P. 519-523.

15. Negri, A.S. Comparative analysis of fruit aroma patterns in the domesticated wild strawberries “Profumata di Tortona” (*F. moschata*) and “Regina delle Valli” (*F. vesca*) / A.S. Negri, D. Allegra, L. Simoni, F. Rusconi, C. Tonelli, L. Espen, M. Galbiati // Frontiers in Plant Science, 2015. – V. 6. – P. 56. Doi: 10.3389/fpls.2015.00056.

16. Zubkova, M.I. Strawberry assessment for biochemical and organoleptic features of berries in the Orel region / M.I. Zubkova, M.A. Makarkina, S.D. Knyazev // Bulletin of agrarian science, 2020. – V. 4(85). – P. 9-15. Doi: 10.17238/issn2587-666X.2020.4.9.

17. Luk'yanchuk, I.V. Analysis of strawberry genetic collection (*Fragaria* L.) for *Rca2* and *Rpfl* genes with molecular markers / I.V. Luk'yanchuk, A.S. Lyzhin, I.I. Kozlova // Vavilov Journal of Genetics and Breeding, 2018. – V. 22(7). – P. 795-799. Doi: 10.18699/VJ18.423.

18. Lyzhin, A.S. 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 / A.S. Lyzhin, I.V. Luk'yanchuk, E.V. Zhanova // Vavilov Journal of Genetics and Breeding, 2020. – V. 24(1). – P. 5-11. Doi: 10.18699/VJ20.588.

19. Lyzhin, A.S. Analysis of promising strawberry hybrid forms by *FAOMT* and *FAFAD1* fruit aroma genes / A.S. Lyzhin, I.V. Luk'yanchuk // Taurida herald of the agrarian sciences, 2021. – No 3(27). – P. 117-124. Doi: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-117-124.

20. Lyzhin, A. Marker-assisted screening of promising forms in the strawberry breeding / A. Lyzhin, I. Luk'yanchuk // E3S Web of Conferences, 2021. – V. 254. – P. 03002. Doi: 10.1051/e3sconf/202125403002.