

УДК 634.75:577.2:632.4

DOI 10.30679/2219-5335-2023-2-80-61-69

**АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ  
ОТБОРНЫХ ФОРМ  
ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ  
ПО ГЕНУ *FANAAMT*  
БИОСИНТЕЗА  
МЕТИЛАНТРАНИЛАТА**

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

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

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

Характерный «земляничный» аромат плодов земляники обусловлен наличием метилантранилата (метиловый эфир антраниловой кислоты). В представленном исследовании показаны результаты маркер-опосредованного скрининга перспективных отборных форм земляники селекции «ФНЦ им. И.В. Мичурина» по гену *FanAAMT* биосинтеза метилантранилата. Биологическими объектами исследования являлись гибридные сеянцы земляники 298-19-9-43 (FB<sub>2</sub> *F. orientalis*, *F. moschata*, *F. × ananassa*), 26-5, 928-12, 913-102, 913-157 (FB<sub>3</sub> *F. orientalis*, *F. moschata*, *F. × ananassa*), 932-29 (*F. virginiana* subsp. *platypetala* × Фейерверк), 56-5, 56-18, 56-20 (Gigantella Maxim × Привлекательная), 65-26 (Олимпийская надежда × Былинная), 61-22 (Былинная × Олимпийская надежда), 75-80, 75-68 (Tokado × Elianny), 28-11, 28-36 (Лакомая × Maryshka), 21-14 (Урожайная ЦГЛ × Рубиновый кулон), 72-67 (Привлекательная × Былинная). Экстракция тотальной ДНК земляники проводилась по модифицированному методу СТАВ. Для выявления гена

UDC 634.75:577.2:632.4

DOI 10.30679/2219-5335-2023-2-80-61-69

**ANALYSIS OF PROMISING  
SELECTED FORMS  
OF GARDEN STRAWBERRY  
BY THE *FANAAMT*  
METHYL ANTHRANILATE  
BIOSYNTHESIS GENE**

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

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

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

The characteristic «strawberry» aroma of strawberry fruit is due to the presence of methyl anthranilate (methyl ester of anthranilic acid). The present study shows the results of the marker-assisted screening of promising strawberry selected forms created in the «I.V. Michurin FSC», according to the *FanAAMT* gene controlling biosynthesis of methyl anthranilate. The biological objects of the study were strawberry selected hybrid forms 298-19-9-43 (FB<sub>2</sub> *F. orientalis*, *F. moschata*, *F. × ananassa*), 26-5, 928-12, 913-102, 913-157 (FB<sub>3</sub> *F. orientalis*, *F. moschata*, *F. × ananassa*), 932-29 (*F. virginiana* subsp. *platypetala* × Feyyerverk), 56-5, 56-18, 56-20 (Gigantella Maxim × Privlekatelnaya), 65-26 (Olimpiyskaya nadezhda × Bylinnaya), 61-22 (Bylinnaya × Olimpiyskaya nadezhda), 75-80, 75-68 (Tokado × Elianny), 28-11, 28-36 (Lakomaya × Maryshka), 21-14 (Urozhaynaya CGL × Rubinovyy kulon), and 72-67 (Privlekatelnaya × Bylinnaya). Total genomic strawberry DNA was extracted according to the modified СТАВ method. The *FanAAMT* gene was identified

*FanAAMT* использовали праймеры FanAAMT for/rev. В результате проведённых исследований выявлены генетические источники функционального аллеля гена *FanAAMT* – отборные формы 26-5 (Рубиновый кулон × ({[(*F. orientalis* Los. × Cavalier) × *F. moschata* Duch.] × Redcoat} × Senga Sengana)) и 928-12 (({[(*F. orientalis* Los. × Cavalier) × *F. moschata* Duch.] × Redcoat} × Senga Sengana) × Привлекательная). Установлено, что исходные формы земляники – дикорастущий вид *F. virginiana* subsp. *platypetala*, сорта земляники садовой Былинная, Привлекательная, Рубиновый кулон, Фейерверк характеризуются гетерозиготным сочетанием аллелей гена *FanAAMT*. Отборные формы 26-5 и 928-12 также характеризуются гетерозиготным генотипом по гену *FaOMT* (биосинтез мезифурана), что позволяет использовать их в качестве комплексных источников генов ароматического комплекса плодов.

**Ключевые слова:** ЗЕМЛЯНИКА, МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МАРКЕРЫ, АРОМАТ ПЛОДОВ, МЕТИЛАНТРАНИЛАТ, ГЕН *FANAAMT*

with primers FanAAMT for/rev. As a result of the studies, the genetic sources of the functional allele of the *FanAAMT* gene were identified – strawberry selected forms 26-5 (Rubinovyy kulon × ({[(*F. orientalis* Los. × Cavalier) × *F. moschata* Duch.] × Redcoat} × Senga Sengana)) and 928-12 (({[(*F. orientalis* Los. × Cavalier) × *F. moschata* Duch.] × Redcoat} × Senga Sengana) × Privlekatelnaya). It was found that the parental strawberry forms – wild species *F. virginiana* subsp. *platypetala* strawberry varieties Bylinnaya, Privlekatelnaya, Rubinovyy kulon, Feyerverk are characterized by a heterozygous combination of alleles of the *FanAAMT* gene. The strawberry selected forms 26-5 and 928-12 are also characterized by a heterozygous genotype for the *FaOMT* mesifurane biosynthesis gene, which allows them to be used as complex sources of fruit aromatic complex genes.

**Key words:** STRAWBERRY, MOLECULAR MARKERS, FRUIT AROMA, METHYL ANTHRANILATE, *FANAAMT* GENE

**Введение.** Земляника садовая – одна из наиболее распространённых ягодных культур. Её популярность у потребителей во многом обусловлена вкусовыми качествами плодов с характерным приятным ароматом [1-3]. Аромат плодов земляники является сортоспецифичным признаком и обусловлен комплексом низкомолекулярных летучих органических веществ, относящихся к таким классам соединений как эфиры, альдегиды, спирты, кетоны, фураноны и др. Самую большую группу ароматообразующих соединений (25-90 % от общего содержания) составляют сложные эфиры, в основном метиловые и этиловые. В настоящее время выявлено свыше 360 химических веществ, участвующих в формировании аромата плодов [2, 4-6]. Генотипы земляники садовой значительно различаются по уровню накопления в плодах ароматообразующих веществ, разница между сортами по накоплению ароматических соединений может превышать 10 раз [2, 7].

Одним из наиболее важных ароматических соединений плодов земляники является метиловый эфир антраниловой кислоты (метил-2-аминобензоат, метилантранилат), имеющий характерный «земляничный» аромат [8, 9].

Уровень накопления метилантранилата в плодах земляники зависит как от генотипа, так и складывающихся погодно-климатических условий, однако вклад генотипа в формирование признака наиболее существенен [9, 10]. Главной генетической детерминантой биосинтеза метилантранилата в плодах земляники является ген *FanAAMT* (contig 1885), кодирующий метилтрансферазу антраниловой кислоты. Блокирование транскрипции гена *FanAAMT* приводит к практически полному прекращению синтеза метилантранилата [11]. Кроме того, идентифицированы несколько QTL, вовлечённых в контроль биосинтеза метилантранилата [12].

Однако многие современные сорта земляники характеризуются низкой интенсивностью аромата плодов, так как данный признак был в значительной степени утрачен в процессе селекционного совершенствования сортамента [13, 14], и в настоящее время многие селекционные программы по землянике предусматривают улучшение аромата плодов, в том числе интрогрессией генов посредством отбора на основе диагностических ДНК-маркеров [12, 15, 16].

Целью настоящего исследования являлся маркер-опосредованный скрининг отборных гибридных сеянцев земляники селекции в «ФНЦ им. И.В. Мичурина» по гену *FanAAMT*, вовлечённому в биосинтез метилантранилата для выявления форм, перспективных для селекции на аромат плодов.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проведены в 2020-2023 гг. Биологическими объектами являлись отборные гибридные сеянцы земляники, полученные в «ФНЦ им. И.В. Мичурина» методами межсортовой гибридизации, а также интрогрессией геноплазмы дикорастущих видов рода *Fragaria* L. в геном земляники садовой (*F. × ananassa* Duch.) (табл. 1).

Таблица 1 – Анализируемые генотипы земляники

Генотип	Комбинация скрещивания
298-19-9-43	{[( <i>F. orientalis</i> Los. × Cavalier) × <i>F. moschata</i> Duch.] × Redcoat} × Senga Sengana
26-5	Рубиновый кулон × ({[( <i>F. orientalis</i> Los. × Cavalier) × <i>F. moschata</i> Duch.] × Redcoat} × Senga Sengana)
928-12	({[( <i>F. orientalis</i> Los. × Cavalier) × <i>F. moschata</i> Duch.] × Redcoat} × Senga Sengana) × Привлекательная
932-29	<i>F. virginiana</i> subsp. <i>platypetala</i> (Rydb.) Staudt × Фейерверк
913-102	Урожайная ЦГЛ × ({[( <i>F. orientalis</i> Los. × Cavalier) × <i>F. moschata</i> Duch.] × Redcoat} × Senga Sengana)
913-157	
56-5	Gigantella Maxim × Привлекательная
56-18	
56-20	
65-26	Олимпийская надежда × Былинная
61-22	Былинная × Олимпийская надежда
72-67	Привлекательная × Былинная
75-30	Tokado × Elianny
75-68	
28-11	Лакомая × Maryshka
28-36	
21-14	Урожайная ЦГЛ × Рубиновый кулон

Для получения тотальной ДНК земляники были взяты молодые листья, экстракция проводилась методом СТАВ, модифицированном для культуры земляники [17].

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) [11]. Праймеры FanAAMT for/rev синтезируют ампликоны размером 350 и около 1500 п.н., из которых функциональному аллелю гена *FanAAMT* соответствует фрагмент размером 1500 п.н. [11].

Положительным контролем присутствия в геноме гена *FanAAMT* являлся дикорастущий вид земляника лесная (*F. vesca*), характеризующийся высоким уровнем накопления метилантранилата в плодах и наличием на электрофореграмме целевого ампликона размером 1500 п.н. [9, 18].

Полимеразную цепную реакцию проводили в термоциклере T100 (Bio-Rad, США) по описанной ранее [18] 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). Для визуализации результатов электрофореза гель помещали в ультрафиолетовое поле трансиллюминатора с длиной волны 312 нм. Для последующего анализа электрофореграмм и обработки данных гель фотографировали цифровым фотоаппаратом.

**Обсуждение результатов.** В результате проведённых исследований целевой ампликон размером около 1500 п.н., соответствующий функциональному аллелю гена *FanAAMT*, выявлен у четвёртого поколения (FB<sub>3</sub>) отборных форм земляники межвидового происхождения 26-5 и 928-12 (табл. 2), полученных с использованием носителя целевого аллеля гена *FanAAMT* – земляники мускатной (*F. moschata*) [18]. При этом FB<sub>2</sub> гибрид – отборная форма 298-19-9-43, ген метилтрансферазы антраиловой кислоты не имеет. Поэтому источниками аллеля *FanAAMT* для гибридов 26-5 и 928-12 являются: для гибрида 26-5 – материнская форма Рубиновый кулон, для гибрида 928-12 – отцовская форма Привлекательная, а сами отборные формы, предположительно, характеризуются гетерозиготным сочетанием аллелей гена *FanAAMT*. Для подтверждения наличия активного аллеля *FanAAMT* у сортов Рубиновый кулон и Привлекательная необходимо проведение дополнительных исследований.

Отборные формы 26-5 и 928-12 также характеризуются гетерозиготным сочетанием аллелей гена O-метилтрансферазы (*FaOMT*), играющего главную роль в контроле биосинтеза мезифурана [19, 20], в связи с чем являются комплексными источниками генов аромата плодов для селекции.

Также необходимо отметить, что отборная форма 932-29, полученная гибридизацией дикорастущего вида *F. virginiana* subsp. *platypetala* с сортом земляники садовой Фейерверк (согласно проведённым ранее исследованиям

[18] обе исходные формы имеют в генотипе функциональный аллель *FanAAMT*), ген *FanAAMT* не унаследовала. В связи с этим исходные формы *F. virginiana* subsp. *platypetala* и сорт Фейерверк также предположительно характеризуются гетерозиготным сочетанием аллелей гена *FanAAMT*.

Таблица 2 – Результаты ПЦР диагностики отборных форм земляники селекции «ФНЦ им. И.В. Мичурина» по гену *FanAAMT*

№	Отборная форма	<i>FanAAMT</i>	
		350 п.н.	1500 п.н.
1	298-19-9-43	1	0
2	26-5	1	1
3	928-12	1	1
4	56-5	1	0
5	56-18	1	0
6	56-20	1	0
7	932-29	1	0
8	72-67	1	0
9	913-102	1	0
10	913-157	1	0
11	65-26	1	0
12	61-22	1	0
13	75-30	1	0
14	75-68	1	0
15	28-11	1	0
16	28-36	1	0
17	21-14	1	0

Кроме того, отборные сеянцы межсортового происхождения 65-26 (Олимпийская надежда × Былинная), 61-22 (Былинная × Олимпийская надежда), 72-67 (Привлекательная × Былинная), полученные с использованием идентифицированного источника гена *FanAAMT* – сорта Былинная, функциональный аллель *FanAAMT* не унаследовал, что предполагает наличие гена *FanAAMT* у сорта Былинная в гетерозиготной форме.

**Заключение.** В результате молекулярно-генетического анализа ген *FanAAMT*, вовлечённый в биосинтез метилантранилата, идентифицирован у отборных гибридных форм 26-5 и 928-12 (предполагаемый генотип – гетерозиготный). Уточнена генотипическая структура исходных родительских форм по гену *FanAAMT* – дикорастущий вид *F. virginiana* subsp.

*platypetala*, сорта Былинная, Привлекательная, Рубиновый кулон и Фейерверк характеризуются гетерозиготным сочетанием аллелей. В качестве комплексных источников генов аромата плодов (*FanAAMT+FaOMT*) для селекции выделены отборные формы 26-5 и 928-12.

#### Литература

1. Акимов М. Ю., Лукьянчук И. В., Жбанова Е. В., Лыжин А.С. Плоды земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) как ценный источник пищевых и биологически активных веществ (обзор) // Химия растительного сырья. 2020. №1. С. 5-18. DOI: 10.14258/jcprm.2020015511
2. 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. 224. DOI: 10.1038/s41438-021-00664-2
3. 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(4). 81. DOI:10.3390/horticulturae7040081
4. Dong J., Zhang Y., Tang X., Jin W., Han Z. Differences in volatile ester composition between *Fragaria* × *ananassa* and *F. vesca* and implications for strawberry aroma patterns // Sci. Hortic. 2013. Vol. 150. P. 47-53. DOI: 10.1016/j.scienta.2012.11.001
5. El Hadi M.A.M., Zhang F.J., Wu F.F., Zhou C.H., Tao J. Advances in fruit aroma volatile research. // Molecules, 2013. Vol. 18(7). P. 8200-8229. DOI: 10.3390/molecules18078200
6. Song C., Hong X., Zhao S., Liu J., Schulenburg K., Huang F.C., Franz-Oberdorf K., Schwab W. Glucosylation of 4-Hydroxy-2,5-Dimethyl-3(2H)-Furanone, the Key Strawberry Flavor Compound in Strawberry Fruit // Plant Physiology. 2016. Vol. 171(1). P. 139-151. DOI: 10.1104/pp.16.00226
7. 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. Vol. 159(2). P. 851-870. DOI: 10.1104/pp.111.188318
8. 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. Vol. 205(3). P. 218-223.
9. Urrutia M., Rambla J.L., Alexiou K.G., Granell 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
10. 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
11. 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. Vol. 17(1). P. 1-12. DOI: 10.1186/s12870-017-1088-1
12. 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. 615749. DOI: 10.3389/fpls.2021.615749

13. Ulrich D., Olbricht K. Diversity of volatile patterns in sixteen *Fragaria vesca* L. accessions in comparison to cultivars of *Fragaria* × *ananassa* // J. Appl. Bot. Food Qual. 2013. Vol. 86. P. 37-46. DOI: 10.5073/JABFQ.2013.086.006.
14. 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.
15. 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.
16. Vandendriessche T., Vermeir S., Martinez C.M., Hendrickx Y., Lammertyn J., Nicolaï B.M., Hertog M.L.A.T.M. Effect of ripening and inter-cultivar differences on strawberry quality // LWT-Food Science and Technology. 2013. Vol. 52(2). P. 62-70. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.12.037.
17. 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. Vol. 22(7). P. 795-799. DOI: 10.18699/VJ18.423.
18. Лыжин А.С., Лукъянчук 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.
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. Лыжин А.С., Лукъянчук 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. Т. 183. № 2. С. 122-128. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-2-122-128.

### References

1. Akimov M.Yu., Luk'yanchuk I.V., Zhanova E.V., Lyzhin A.S. Strawberry fruit (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) as a valuable source of nutritional and biologically active substances (Review) // Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya. 2020. Vol. 1. P. 5-18. DOI: 10.14258/jcprm.2020015511 (in Russian)
2. 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. 224. DOI: 10.1038/s41438-021-00664-2
3. 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(4). 81. DOI:10.3390/horticulturae7040081
4. Dong J., Zhang Y., Tang X., Jin W., Han Z. Differences in volatile ester composition between *Fragaria* × *ananassa* and *F. vesca* and implications for strawberry aroma patterns // Sci. Hortic. 2013. Vol. 150. P. 47-53. DOI: 10.1016/j.scienta.2012.11.001
5. El Hadi M.A.M., Zhang F.J., Wu F.F., Zhou C.H., Tao J. Advances in fruit aroma volatile research. // Molecules, 2013. Vol. 18(7). P. 8200-8229. DOI: 10.3390/molecules18078200
6. Song C., Hong X., Zhao S., Liu J., Schulenburg K., Huang F.C., Franz-Oberdorf K., Schwab W. Glucosylation of 4-Hydroxy-2,5-Dimethyl-3(2H)-Furanone, the Key Strawberry Flavor Compound in Strawberry Fruit // Plant Physiology. 2016. Vol. 171(1). P. 139-151. DOI: 10.1104/pp.16.00226

7. 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. Vol. 159(2). P. 851-870. DOI: 10.1104/pp.111.188318
8. 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. Vol. 205(3). P. 218-223.
9. Urrutia M., Rambla J.L., Alexiou K.G., Granell 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
10. 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
11. 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. Vol. 17(1). P. 1-12. DOI: 10.1186/s12870-017-1088-1
12. 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. 615749. DOI: 10.3389/fpls.2021.615749
13. Ulrich D., Olbricht K. Diversity of volatile patterns in sixteen *Fragaria vesca* L. accessions in comparison to cultivars of *Fragaria* × *ananassa* // *J. Appl. Bot. Food Qual.* 2013. Vol. 86. P. 37-46. DOI: 10.5073/JABFQ.2013.086.006.
14. Zubkova M.I., Makarkina M.A., Knyazev S.D. Strawberry assessment for biochemical and organoleptic features of berries in the Orel region // *Bulletin of agrarian science*. 2020. Vol. 4(85). P. 9-15. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.4.9 (in Russian)
15. 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.
16. Vandendriessche T., Vermeir S., Martinez C.M., Hendrickx Y., Lammertyn J., Nicolaï B.M., Hertog M.L.A.T.M. Effect of ripening and inter-cultivar differences on strawberry quality // *LWT-Food Science and Technology*. 2013. Vol. 52(2). P. 62-70. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.12.037.
17. 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. Vol. 22(7). P. 795-799. DOI: 10.18699/VJ18.423.
18. 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(2). P. 72-80. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-72-80 (in Russian)
19. Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V. Analysis of promising strawberry hybrid forms by *FAOMT* and *FAFAD1* fruit aroma genes // *Taurida herald of the agrarian sciences*. 2021. № 3(27). P. 117-124. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-117-124 (in Russian)
20. 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. Vol. 183(2). P. 122-128. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-2-122-128 (in Russian)