УДК 634.75:581.19 doi: 10.31360/2225-3068-2026-96-41-57
EDN CMNZUH

# СОДЕРЖАНИЕ, СОСТАВ И БИОСИНТЕЗ АНТОЦИАНОВ В ПЛОДАХ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНОТИПОВ РОДА FRAGARIA L. (ОБЗОР)

**Жбанова Е.В., Лукъянчук И.В., Лыжин А.С.**

*Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина,*
*г. Мичуринск, Россия, e-mail: shbanovak@yandex.ru*

*Жбанова Е.В. orcid.org/0000-0001-5045-384X*
*Лукъянчук И.В. orcid.org/0000-0003-1626-840X*
*Лыжин А.С. orcid.org/0000-0001-9770-8731*

Окраска плодов земляники является важнейшим признаком, влияющим на предпочтения потребителей, и может варьировать от белого до светло-оранжевого и от алого до почти чёрного. Необходимо всестороннее изучение суммарного содержания, состава и регуляции биосинтеза антоцианов у различных видов Fragaria. Это будет способствовать выведению богатых антоцианами сортов земляники для удовлетворения растущего спроса на полезные для здоровья соединения в рационе человека. Цель работы состояла в освещении новейших достижений в области исследования специфики антоцианового профиля плодов различных генотипов рода Fragaria, вопросов биосинтеза антоцианов и расшифровки структурных и регуляторных генов, участвующих в формировании цвета плодов. Содержание антоцианов у сортов *F.* ×

*ananassa*, согласно данным, полученным отечественными и зарубежными исследователями, составляет в среднем 48,0 ±3,8 мг/100 г и варьирует в пределах от 3,6 мг/100 г до 171,6 мг/100 г. Относительное соотношение различных антоцианов может оказывать существенное влияние на окраску плодов: производные пеларгонидина придают плодам ярко-красный цвет, производные цианидина – тёмно-красный. У *F.* × *ananassa* преобладающим антоцианом является пеларгонидин-3-глюкозид; второй по распространённости антоциан – пеларгонидин-3-малонил-глюкозид; цианидин-3-глюкозид присутствует в меньшем количестве. В плодах *F. pentaphylla* и *F. nilgerrensis* определены цианидин-3-глюкозидхлорид, цианидин-3-галактозид и 3-глюкозид цианидина. Цианидин-3-глюкопиранозид – наиболее распространённый антоциан в плодах *F. chiloensis*. У *F. vesca* накапливаются преимущественно цианидин-глюкозиды. Установлено, что белок MYB10 (кодируется геном *FaMYB10*) является фактором транскрипции биосинтеза антоцианов в плодах земляники. Различные мутации гена *FaMYB10* с потерей функции нарушают биосинтез антоцианов и вызывают большую часть вариаций окраски, наблюдаемых у дикорастущих видов и культурной земляники (*F.* × *ananassa*).

***Ключевые слова:*** род Fragaria, генотип, антоцианы, пеларгонидин-3-глюкозид, антиоксидантная активность, *MYB10.*

**Введение.** Род земляники Fragaria L. относится к семейству Розоцветные (Rosaceae), подсемейству шиповниковые (Rosoideae). Культивируемые и примерно 25 описанных в настоящее время видов дикорастущих земляник включают виды от диплоидных (2n = 2x = 14) до декаплоидного (*F. cascadensis* Hummer) (2n = 10x = 70) [33]. Большинство диплоидных видов и все пять тетраплоидных видов представлены в Китае [55]. Единственный гексаплоидный вид, *F. moschata* Duch. (2n = 6x = 42), встречается в Европе, включая Россию. Два родственных диких вида – *F. chiloensis* (L.) Duch. (2n = 8x = 56) и *F. virginiana* Duch. (2n = 8x = 56) произрастают как в Южной, так и Северной Америке [6, 40]. Земляника садовая *(F.* × *ananassa* Duch.) (2n = 8x = 56) – основной культивируемый вид земляники. Она выращивается по всему миру, уступая по мировому производству только винограду [11, 34, 35, 65, 75]. В Европе около 50 % от общего объёма производства ягод приходится на землянику, за ней следуют малина и смородина (примерно по 20 %) и черника (5 %) [69]. Помимо привлекательного цвета и вкуса, земляника является хорошим источником витамина С и других антиоксидантных соединений, таких как витамин Е, β-каротин, а также большого количества разнообразных фенольных компонентов (фенольные кислоты, флавонолы, флаван-3-олы и антоцианы) [58].

Для рода Fragaria характерно большое генотипическое и фенотипическое разнообразие окраски плодов – от белого до тёмно-красного, что может быть использовано для расшифровки механизмов, ответствен-

ных за данный признак [29, 54, 55, 64, 83]. Например, *F. neilgerrensis* Schle. характеризуется белыми плодами [88], тогда как *F. pentaphylla* Losinsk. имеет формы с красными и белыми плодами [64]. У *F.* × *ananassa* наблюдается различие во внешней и внутренней окраске плода (например, имеются генотипы с белой мякотью и генотипы с красной мякотью плодов) [23].

В последнее время качество плодов становится одним из основных ориентиров при селекции земляники. Усилиями учёных и селекционеров выведены сорта, обладающие не только повышенной устойчивостью к патогенам, высокой урожайностью и увеличенным сроком хранения, но и улучшенными вкусовыми качествами плодов, их полезными свойствами [3, 14, 62, 69]. Основные сенсорные характеристики плодов включают аромат, вкус (сахара, органические кислоты) и внешний вид (размер, форма, яркость, цвет). Как и в случае с другими признаками фруктов, предпочтения потребителей могут значительно различаться. Некоторые потребители отождествляют полностью красные или тёмно-красные плоды с повышенной спелостью и высоким содержанием антиоксидантов, в то время как другие считают более светло-красную или алую землянику более свежей [34].

Антоцианы – доминирующая группа полифенолов земляники, определяющая окраску плодов. В растениях антоцианы, создавая разнообразную окраску цветков и плодов, служат для привлечения опылителей, распространения семян, повышают устойчивость растений к биотическим и абиотическим стрессам [15, 47, 50, 75, 79]. Более того, антоцианы являются флавоноидами с сильными антиоксидантными свойствами [4, 12, 13, 20, 26, 39, 41, 42, 46, 52, 53, 56, 57, 68, 71, 76]. Зарубежными учёными [23] определено, что антоцианы занимают третье место по вкладу в общую антиоксидантную способность земляники (13 %), которым предшествуют витамин С (24 %) и эллаготанины (19 %). Антоцианы обладают противомикробным, противовирусным, противоаллергическим, антиканцерогенным, антимутагенным и антипролиферативным действием и, таким образом, могут играть важную роль в предотвращении различных дегенеративных заболеваний [56]. Установленная фармакологическая суточная доза антоцианов для взрослого человека составляет от 80 мг; адекватный уровень потребления – 50 мг, верхний допустимый уровень – 150 мг [18]. Антоцианы представляют также интерес для пищевой промышленности, поскольку рассматриваются как потенциальные заменители синтетических пищевых красителей. Их суммарное количество и качественный состав имеют приоритетное значение при оценке пригодности сортов к технологической переработке и замораживанию.

Поэтому в последние годы антоцианы служат объектом пристального внимания исследователей [51–53]. Необходимо всестороннее изучение содержания, состава и регуляции биосинтеза антоцианов у различных видов Fragaria. Это будет способствовать выведению богатых антоцианами сортов земляники для удовлетворения растущего спроса на полезные для здоровья соединения в рационе человека.

***Цель работы*** состояла в освещении новейших достижений в области исследования специфики антоцианового профиля плодов различных генотипов рода Fragaria, вопросов биосинтеза антоцианов и расшифровки структурных и регуляторных генов, участвующих в формировании цвета плодов.

*Содержание и состав антоцианов в плодах F. × ananassa.* Содержание антоцианов значительно варьирует у различных сортов садовой земляники. Среднее их накопление по данным, полученным как за рубежом, так и в разных регионах России (табл. 1), составляет 48,0 ±3,8 мг/100 г.

**Таблица 1. Содержание антоцианов в плодах земляники в различных регионах РФ и за рубежом**

Table1. The content of anthocyanins in strawberry fruits in various regions of the Russian Federation and abroad

| Страна, область, край | Содержание антоцианов, *мг/100 г* | Пределы варьирования, *мг/100 г* | Источник |
|---|---|---|---|
| *Российская Федерация* | | | |
| Амурская область | 27,9 ±4,0 | 16,4–72,5 | [17] |
| Белгородская область | 43,1 ±1,6 | 24,2–60,5 | [5] |
| Брянская область | 69,1 ±3,9 | 40,0–85,0 | [2] |
| Оренбургская область | 52,0 ±3,9 | 25,0–97,5 | [1] |
| Орловская область | 43,0 ±4,0 | 16,0–107,0 | [16] |
| Тамбовская область | 50,6 ±2,2 | 3,6–171,6 | [9] |
| Ярославская область | 92,1 ±4,0 | 53,4–147,2 | [22] |
| Краснодарский край | 75,5 ±3,8 | 46,2–90,0 | [8] |
| Республика Крым | 71,6 ±3,0 | 50,1–100,4 | [7] |
| Республика Дагестан | 54,7 ±6,0 | 29,0–82,0 | [10] |
| *Другие государства* | | | |
| Индия | 66,2 ±3,3 | 40,5–125,0 | [74] |
| Италия | 46,1 ±2,8 | 25,8–75,4 | [61] |
| США (Калифорния) | 53,0 ±1,7 | 33,9–74,8 | [84] |
| Китай | 25,2 ±8,7 | 4,5–47,2 | [28] |
| Канада | 57,5 ±5,4 | 19,1–104,9 | [87] |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Хорватия | 20,1 ±3,2 | 8,2–32,7 | [81] |
| Эстония | 40,6 ±3,1 | 27,8–60,1 | [78] |
| Бразилия | 33,8 ±7,4 | 13,4–54,9 | [30] |
| Норвегия | 33,9 ±2,1 | 8,5–65,9 | [23] |
| Южная Корея | 29,8 ±3,5 | 14,5–53,0 | [44] |
| Польша | 29,6 ±4,2 | 3,7–64,9 | [59] |
| Австралия | 55,9 ±9,9 | 23,9–101,0 | [37] |
| Испания | 32,3 ±2,1 | 20,2–47,4 | [27] |
| *Среднее* | *48,0 ±3,8* | *20,1–92,1* | |

Особый интерес представляют белоплодные сорта. Их окраска бывает белоснежной, кремово-белой, бело-жёлтой. Во многом это впечатление создает цвет семянок, которыми усыпаны ягоды. Семянки могут быть ярко-красными (‘Pineberry’, ‘Белый швед’, ‘Anablanca’) либо жёлтыми (‘Белый лебедь’, ‘Жёлтое чудо’).

Проведённые нами исследования [9] показали варьирование антоцианов от 3,6 мг/100 г (белоплодный сорт ‘Лебедушка’) до 171,6 мг/100 г (‘Рубиновый кулон’). Выделены сорта с высоким содержанием антоцианов (выше 90,1 мг/100 г) – ‘Алена’, ‘Источник’, ‘Памяти Зубова’, ‘Привлекательная’, ‘Рубиновый кулон’, ‘Торпеда’, ‘Фейерверк’, ‘Рубиновый каскад’. Сорта ‘Былинная’, ‘Олимпийская надежда’, ‘Троицкая’, ‘Alba’, ‘Arosa’, ‘Aprica’, ‘Galia Civ’, ‘Elianny’, ‘Karia’, ‘Roxana’, ‘Ternata’, ‘Tristar’, ‘Vima Rina’ характеризовались светлой окраской плодов и накапливали антоцианы менее 30,0 мг/100 г.

При изучении коллекции сортов в Орловской области наиболее высоким накоплением антоцианов отличался сорт ‘Зенит’ (107,0 мг/100 г). Низкое их накопление характерно для сортов ‘Онега’ (17,0 мг/100 г), ‘Сударушка’ (18,0 мг/100 г) [16].

В Крыму [7] высоким уровнем накопления антоцианов (91,0–100,4 мг/100 г) и, следовательно, выраженной тёмной окраской выделяются сорта ‘Honeoye’, ‘Senga Sengana’, ‘Nelly’, ‘Moling Pandora’.

На юге Амурской области [17] повышенное содержание антоцианов выявлено в плодах сортов ‘Elvira’ (49,1 мг/100 г) и ‘Daroyal’ (72,5 мг/100 г).

В Оренбургской области [1] в качестве богатых антоцианами сортов выделены ‘Торпеда’ (97,5 мг/100 г), ‘Соловушка’ (95,3 мг/100 г), ‘Гренада’ (92,0 мг/100 г), ‘Славутич’ (86,8 мг/100 г).

В Польше [59] суммарное количество антоцианов изменялось от 3,7 до 64,9 мг/100 г (в среднем 29,5 мг/100 г). Самый высокий уровень накопления антоцианов (более 50,0 мг/100 г) наблюдался у сортов ‘Siabelle’ (58,2 мг/100 г), ‘Kama’ (58,1 мг/100 г), ‘Thuriga’ (53,2 мг/100 г), ‘Florin’ (52,6 мг/100 г), ‘Grenadie’r (52,0 мг/100 г), ‘Syrena’ (51,7 мг/100 г).

Низкий уровень накопления антоцианов обнаружен у сортов ‘Pandora’ (3,7 мг/100 г), ‘Alfa’ (7,5 мг/100 г), ‘Rosie’ (7,8 мг/100 г).

По сообщениям итальянских исследователей [61] суммарное количество антоцианов варьировало от 25,8 мг/100 г (‘Carla’) до 75,4 мг/100 г (‘Naiad’). Хорошим уровнем накопления антоцианов (выше 50,0 мг/100 г) отличались сорта ‘Daniela’, ‘Terry’, ‘Laica’, ‘Ventana’, ‘Salva’, ‘Candonga’.

Сорт ‘Camarosa’ (США, Калифорния), который охватывает примерно половину мирового рынка земляники, по нашим данным, накапливает в плодах 36,0 мг/100 г антоцианов. По данным зарубежных исследователей, содержание антоцианов у данного сорта составило (мг/100 г): Италия – 35,9; Испания – 47,4; Греция – 41,0; Чили – 30,0; Бразилия – 23,4; Австралия – 48,0; США (Флорида) – 34,0 [27, 37, 38, 60, 61, 88].

В плодах земляники антоцианы присутствуют почти исключительно в неацилированной форме (99 %). Большая их часть существует в виде моногликозидов (93 %), а остальные 7 % – в виде дигликозидов. Мякоть ягод земляники содержит больше пеларгонидин-3-глюкозида (Pg-3-glu) и пеларгонидин-3-рутинозида (Pg-3-rut), чем семянки, а семянки содержат больше цианидин-3-глюкозида (Cd-3-glu) и цианидин-3-(малонил)глюкозида Cd-3-mal-glu [21, 90].

С помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) в различных сортах земляники было обнаружено более 25 антоцианов [67, 72]. Из них пеларгонидин-3-глюкозид (Pg-3-glu), пеларгонидин-3-О-рутинозид (Pg-3-rut) и цианидин-3-глюкозид (Cd-3-glu) являются тремя основными антоцианами, содержащимися в плодах земляники [34]. Итальянские исследователи [72] при изучении содержания антоцианов в пяти сортах земляники (‘Camarosa’, ‘Carisma’, ‘Eris’, ‘Oso Grande’ и ‘Tudnew’) обнаружили, что пеларгонидин-3-глюкозид (Pg-3-glu) составляет от 77 % до 90 % от общего количества антоцианов, за которыми следует пеларгонидин-3-рутинозид (Pg-3-rut) (от 6 % до 11 %) и цианидин-3-глюкозид (Cd-3-glu) (от 3 % до 10 %). Зарубежными исследователями (Дания, Испания, Голландия) [34] при оценке содержания антоцианов в плодах 12 сортов земляники обнаружено, что пеларгонидин-3-глюкозид (Pg-3-glu) был наиболее распространённым, составляя от 50 % до 90 % от общего содержания антоцианов, за которым следовал цианидин-3-глюкозид (Cd-3-glu), на долю которого приходилось от 1 % до 47 %, в зависимости от сорта. Содержание цианидин-3-глюкозида (Cd-3-glu) в современных сортах значительно снизилось [43, 54, 78]. Кроме того, пеларгонидин-3-рутинозид (Pg-3-rut) и пеларгонидин-3-малонилглюкозид (Pg-3-mal-glu) составляли 12,5 % от общего количества антоцианов, в то время как пеларгонидин-3-

рутинозид (Pg-3-rut) составлял только 3,1 % в плодах *F.* × *ananassa* сорта ‘Senga Sengana’ [45]. Японскими исследователями [86] был проведён анализ определения пеларгонидин-3-малонилглюкозида (Pg-3-mal-glu) у 20 сортов. Пеларгонидин-3-глюкозид (Pg-3-glu) был преобладающим пигментом (66–94 % от общего количества антоцианов), в то время как содержание пеларгонидин-3-малонилглюкозида (Pg-3-mal-glu) составляло 5–24 % от общего количества антоцианов.

Относительное соотношение различных антоцианов, обнаруженных в плодах земляники, может оказывать существенное влияние на окраску плодов: производные пеларгонидина придают плодам ярко-красный цвет, а производные цианидина – тёмно-красный [36]. Предпочтения потребителей, склоняющихся в сторону плодов земляники ярко-красного цвета, со временем косвенно привели к выбору сортов с пеларгонидин-3-глюкозидом (Pg-3-glu) в качестве основной формы антоциана, составляющей 70–90 % от общего количества антоцианов [77]. Однако именно создание витаминных тёмноокрашенных сортов с высоким суммарным содержанием антоцианов представляет актуальную задачу.

*Содержание антоцианов и их состав в плодах различных видов Fragaria.* Содержание и состав антоцианов у земляники дикорастущей и культурной значительно различаются.

В наших исследованиях среднее накопление антоцианов в плодах *F. vesca* составило 34,1 мг/100 г, варьируя в пределах 22,0–46,2 мг/100 г; в плодах *F. virginiana* ssp. *platypetala* – 41,8 мг/100 г, варьируя в пределах 30,8–52,8 мг/100 г. По данным турецких исследователей [85] в плодах *F. vesca* содержалось в среднем 39,4 мг/100 г антоцианов, интервалы варьирования составили 25,1–53,5 мг/100 г.

Цианидин-3-глюкопиранозид является наиболее распространённым антоцианом в плодах *F. chiloensis* [29]. Эстонскими исследователями [78] сообщается, что основные антоцианы плодов *F. vesca* – это гликозилированные пеларгонидин и цианидин, содержащиеся в соотношении примерно 1 : 1. Греческие исследователи [73] обнаружили, что соотношение содержания пеларгонидин-3-глюкозида (Pg-3-glu) и цианидин-3-глюкозида (Cd-3-glu) составляло 1,88 в плодах *F. chiloensis* ssp. chiloensis f. patagonica и 0,68 в плодах *F. chiloensis* ssp. chiloensis f. chiloensis. Южнокорейские исследователи [44] определили содержание пеларгонидин-3-глюкозида (Pg-3-glu), пеларгонидин 3-рутинозида (Pg-3-rut) и цианидин-3-глюкозида (Cd-3-glu) у 14 форм *F. orientalis* и пришли к выводу, что образцы имеют различный их количественный состав. Китайские и американские исследователи [70] обнаружили 26 антоцианов в плодах *F. pentaphylla* и *F. nilgerrensis*. У красноплодной формы *F. pentaphylla* на долю цианидина

и пеларгонидина приходилось 83,13 % и 14,81 % от общего количества антоцианов соответственно. Белый цвет мякоти у белоплодных форм *F. pentaphylla* обусловлен низким содержанием пеларгонина О-гексозил-О-гексозида, пеларгонидина О-гексозида и петунидина О-рутинозида. У *F. nilgerrensis* цианидин составлял 97,66 % от общего содержания антоцианов, в то время как уровень пеларгонидина не определялся. Цианидин-3-глюкозидхлорид, цианидин-3-галактозид и 3-глюкозид цианидина были наиболее распространёнными антоцианами в плодах *F. pentaphylla* и *F. nilgerrensis*, на долю которых приходилось 60,70 % и 94,24 % от общего количества антоцианов соответственно [70]. Цианидин, пеларгонидин и дельфинидин были обнаружены в красных плодах *F. pentaphylla*, в то время как у белоплодных форм *F. nilgerrensis* были определены только цианидин и дельфинидин. Кроме того, в плодах *F. pentaphylla* и *F. nilgerrensis* был обнаружен розинидин, тогда как петунидин обнаружен не был [70]. *У F. vesca* накапливаются преимущественно цианидин-глюкозиды [80]. Было выявлено, что лесная земляника имеет равное количество пеларгонидин-3-глюкозида и цианидин-3-глюкозида, в то время как у культурной октоплоидной земляники преобладает пеларгонидин-3-глюкозид [34].

*Методы визуальной и лабораторной оценки окраски плодов и содержания антоцианов.* При расшифровке архитектуры цвета плодов первым шагом обычно является фенотипирование больших коллекций генетических ресурсов.

Чаще всего цвет плодов земляники оценивается по визуальному сравнению с цветовой шкалой [48]. В последние годы ключевым достижением стала автоматизация процесса, при котором фотографии фруктов, сделанные в стандартизированных условиях, анализируются на предмет интенсивности и рисунка цвета плодов [91]. Внешний цвет плода измеряют с использованием пространства CIELAB, где «L» обозначает яркость, а «a» и «b» – хроматические координаты. Изменение индекса «a» указывает на переход от зелёного к красному, где более высокое значение означает более красный объект. Изменения «b» отражают изменение между жёлтым и синим цветами, т. е. более высокое значение «b» относится к «более синему» объекту. Оценка окраски мякоти плода является более сложной задачей, чем внешней, поскольку она колеблется в более широком диапазоне [24, 49, 91].

Простой способ количественной оценки общего содержания мономерных антоцианов в плодах земляники – использование метода pH-дифференциальной спектрофотометрии, при котором проводится извлечение пигментов из аликвоты вытяжки и определение спектрофото-

метрического поглощения при длинах волн 510 нм и 700 нм при изменении кислотности растворов измеряемых образцов от 1,0 до 4,5 [19].

Деструктивные методы позволяют измерить не только общее содержание антоцианов, но и определить их профиль, а также десятки различных полифенольных метаболитов при использовании высокочувствительных, но более трудоёмких технологий на основе высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) и масс-спектрометрии (МС) [31, 63, 66, 80, 82]. Подробные знания состава антоцианового комплекса в плодах позволяют облегчить идентификацию структурных и регуляторных генов, лежащих в основе QTL [32, 48].

*Пути регуляции накопления антоцианов в плодах земляники.* Биосинтез антоцианов – сложный биологический процесс, на который влияют генетические факторы, факторы развития и факторы окружающей среды. Антоцианы синтезируются по флавоноидному пути, который является ветвью фенилпропаноидного пути. Существует два класса генов, контролирующих биосинтез антоцианов, – структурные и регуляторные. Основная его регуляция происходит на уровне транскрипции структурных генов (включая EBG и LBG), кодирующих ферменты.

Установлен *MYB10* – главный регуляторный ген, воздействующий на структурные гены пути биосинтеза антоцианов, что приводит к ярко-красному цвету кожицы плодов земляники. Различные его мутации с потерей функции нарушают биосинтез антоцианов у *F.* × *ananassa*, что приводит к образованию плодов с белой кожицей [82]. У земляники некоторых сортов плоды характеризуются красной кожицей и белой мякотью внутри, а у других – как красной кожицей, так и красной мякотью. Основной механизм был раскрыт, когда в промоторе *FaMYB10-2* была обнаружена вставка транспозона (*FaEnSpm-2*), что привело к усилению экспрессии и накоплению антоцианов внутри плода и, следовательно, к покраснению мякоти плодов. У дикорастущего диплоидного вида земляники *F. nilgerrensis* естественная мутация в локусе *MYB10* отвечает за фенотип белых плодов [48].

Интенсивность и качество света, включая затенение и ультрафиолетовое излучение, синий и красный свет, существенно влияют на биосинтез антоцианов. Транскрипционные факторы *HY5-bHLH9* способствуют накоплению антоцианов под действием света. На окраску плодов и состав антоцианов также влияет температура. При более низких температурах активируется *MAPK3*, который фосфорилирует *MYB10* и подавляет его транскрипционную активность. Плоды, выращенные при более высоких температурах, показывают повышенные уровни суммарного накопления антоцианов и, в особенности, пеларгонидин-3-глюкозида – наиболее распространённого антоциана в землянике [25].

**Выводы.** В представленном обзоре отражены результаты исследований суммарного содержания антоцианов, антоцианового профиля плодов различных представителей рода Fragaria, генетические аспекты их биосинтеза. Понимание генетических факторов, влияющих на естественную изменчивость внешнего (кожицы) и внутреннего (мякоти) цвета плодов, имеет решающее значение для эффективной модификации этого признака у новых сортов и будет способствовать созданию генотипов с плодами с желаемым (повышенным или пониженным) содержанием антоцианов для удовлетворения растущего спроса на полезные для здоровья соединения в рационе человека.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФНЦ имени И.В. Мичурина по проекту FGSU-2022-0001 «Провести скрининг генетических ресурсов культурных растений, диких видов и их производных с целью формирования исследовательско-селекционных коллекций садовых культур. Выявить вариабельность экономически важных и селекционно значимых признаков, выделить перспективные для дальнейшего использования генотипы»*

**Список литературы/References**

1. Авдеева З.А. Биологические особенности культиваров Fragaria L. в условиях Оренбургского приуралья. Автореф. канд. дис. Оренбург: ФГБОУ ВО «ОГПУ», 2007. [Avdeeva Z.A. Biological features of Fragaria L. cultivars in the conditions of the Orenburg region. Abstract of the PhD thesis. Orenburg: OGPU Federal State Budgetary Educational Institution, 2007].
2. Айтжанова С.Д., Андронова Н.В., Никулин А.Ф. Оценка исходных форм земляники садовой по биохимическим и товарным показателям ягод, Вестник Брянской государственной академии. 2013; 1 : 18-20. [Aytzhanova S.D., Andronova N.V., Nikulin A.F. Evaluation of the original forms of garden strawberries by biochemical and commercial indicators of berries, Vestnik of Brynsk State University. 2013; 1 : 18-20. (In Rus)].
3. Акимов М.Ю., Жбанова Е.В., Макаров В.Н. и др. Пищевая ценность плодов перспективных сортов земляники, Вопросы питания. 2019; 88(2) : 64-72. [Akimov M.Yu., Zhbanova E.V., Makarov V.N., et al. Nutrient value of fruit in promising strawberry varieties, Nutrition Issues. 2019; 88(2) : 64-72. (In Rus)]. DOI: 10.24411/0042-8833-2019-10019.
4. Бобрышева Т.Н., Анисимов Г.С., Золоторева М.С. и др. Полифенолы как перспективные биологически активные соединения, Вопросы питания. 2023; 92(1) : 92-107. [Bobrysheva T.N., Anisimov G.S., Zolotoreva M.S., et al. Polyphenols as promising bioactive compounds, Nutrition Issues. 2023; 92(1): 92-107. (In Rus)]. DOI: 10.33029/0042-8833-2023-92-1-92-107.
5. Волощенко С.С., Сорокопудов В.Н., Иванова Ю.Ю. и др. Особенности химического состава ягод земляники в условиях Белгородской области, Современные проблемы науки и образования. 2011; 6 : 271. [Voloschenko S.S., Sorokopudov V.N., Ivanova Yu.Yu., et al. Features of the chemical compound of berries of wild strawberry in the conditions of the Belgorod region, Modern problems of science and education. 2011; 6 : 271. (In Rus)].
6. Говорова Г.Ф., Говоров Д.Н. Земляника и клубника: монография. М.: Проспект, 2016, 317 с. [Govorova G.F., Govorov D.N. Strawberries and wild strawberries: mono-

graph. M.: Prospect, 2016. 317 p. (In Rus)]. ISBN: 978-5-392-19290-8.
7. Гореликова О.А., Причко Т.Г. Биохимический анализ перспективных сортов-интродуцентов земляники садовой в условиях Краснодарского края, Научные труды СКФНЦСВВ. 2018; 14 : 159-163. [Gorelikova O.A., Prichko T.G. Biochemical analysis of promising strawberry introduced cultivars in the conditions of Krasnodar territory, Scientific works of SKFNTsVVB. 2018; 14 : 159-163. (In Rus)]. DOI: 10.30679/2587-9847-2018-14-159-163.
8. Егоров Е.А., Причко Т.Г., Дрофичева Н.В. и др. Критерии и особые органолептические и биохимические показатели яблок и земляники, характеризующих их производство в почвенно-климатических условиях Краснодарского края (‘Кубанское яблоко’, ‘Кубанская земляника’): методические рекомендации: Краснодар, ФГБНУ СКФНЦСВВ, 2021, 115 с. [Yegorov E.A., Prichko T.G., Droficheva N.V., et al. Criteria and special organoleptic and biochemical indicators of apples and strawberries, characterizing their production in the soil and climatic conditions of the Krasnodar Territory (“Kuban apple”, “Kuban strawberry”): methodological recommendations: Krasnodar, FGBNU SKFNTsSVV, 2021, 115 p. (In Rus)]. ISBN: 978-5-98272-141-9.
9. Жбанова Е.В., Лукъянчук И.В. Характеристика генетической коллекции сортов земляники (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) по компонентам антиоксидантного комплекса плодов, Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022; 183(2) : 32-42. [Zhbanova E.V., Luk’yanchuk I.V. Description of the genetic collection of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) cultivars according to the components of their fruit antioxidant complex, Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022; 183(2) : 32-42. (In Rus)]. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-2-32-42.
10. Загиров Н.Г., Казбеков Б.И., Казбеков А.Б. Оценка товарных и технологических показателей качества плодов у различных сортов земляники в сухих субтропиках южного Дагестана, Научные пути модернизации садоводства России: Труды ВНИИС им. И.В. Мичурина, 2011; 135-138. [Zagirov N.G., Kazbekov B.I., Kazbekov A.B. Assessment of commodity and technological indicators of fruit quality in various strawberry varieties in the dry subtropics of southern Dagestan, Scientific Ways of Modernizing Russian Horticulture: Proceedings of the All-Russian Research Institute of Horticulture named after I. V. Michurin. 2011; 135-138. (In Rus)]. ISBN: 978-5-89609-200-1.
11. Зубов А.А. Теоретические основы селекции земляники. Мичуринск: ВНИИГиСПР им. И.В. Мичурина, 2004, 196 с. [Zubov A.A. Theoretical principles of strawberry breeding. Michurinsk: I.V. Michurin VNIIGiSPR. 2004, 196 p. (In Rus)]. ISBN: 5-900665-13-5.
12. Колдаев В.М., Кропотов А.В. Антоцианы в практической медицине, Тихоокеанский медицинский журнал. 2021; 3 : 24-8. [Koldaev V.M., Kropotov A.V. Anthocyanins in practical medicine, Pacific Medical Journal. 2021; 3 : 24-8. (In Rus)]. DOI: 10.34215/1609-1175-2021-3-24-28.
13. Лилишенцева А.Н., Кривко И.В., Петухов М.М. Антоцианы как компоненты рациона человека, Пищевая промышленность: наука и технологии. 2024; 17(3) : 94-100. [Lilishentseva A.N., Krivko I.V., Petukhov M.M. Anthocyanins as components of the human diet, Food Industry: Science and Technology. 2024; 17(3) : 94-100. (In Rus)].
14. Лукъянчук И.В., Жбанова Е.В. Оценка генетической коллекции земляники по содержанию в плодах антоцианов, Вестник Томского государственного университета. Биология. 2017; 38 : 134-148. [Luk’yanchuk I.V., Zhbanova E.V. Estimation of genetic collection for anthocyanin content in strawberry fruits, Bulletin of Tomsk State University. Biology. 2017; 38 : 134-148. (In Rus)]. DOI: 10.17223/19988591/38/8.
15. Макаревич А.М., Шутова А.Г., Спиридович Е.В. и др. Функции и свойства антоцианов растительного сырья, Труды Белорусского государственного университета. Серия «Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем». 2009; 4(2) : 147-157. [Makarevich A.M., Shutova A.G., Spiridovich E.V., et al. Proceedings of BSU. Series on Physiological, Biochemical, and Molecular Founda-

tions of Biosystems Functioning. 2009; 4(2) : 147-157. (In Rus)].
16. Макаркина М.А., Павел А.Р. Биологически активные вещества в ягодах земляники, выращенной в условиях Орловской области, Современное садоводство. 2017; 2 : 10-16. [Makarkina M.A., Pavel A.R. Biologically active substances in strawberry berries grown in Orel regio, Contemporary horticulture. 2017; 2 : 10-16. (In Rus)].
17. Пакусина А.П., Платонова Т.П., Решетник Е.И. и др. Оценка биохимических показателей ягод земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duchesne) в условиях юга Амурской области, Вестник КамчатГТУ. 2024; 68 : 89-97. [Pakusina A.P., Platonova T.P., Reshetnik E.I., et al. Assessment of biochemical parameters of garden strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch.) under conditions of the south Amur region, Vestnik KAMCHATSTU. 2024; 68 : 89-97. (In Rus)]. DOI: 10.17217/2079-0333-2024-68-89-97.
18. Попова А.Ю., Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. О новых (2021) нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации, Вопросы питания. 2021; 90(4) : 6-19. [Popova A.Yu., Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. On the new (2021) norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation, Nutrition Issues. 2021; 90(4) : 6-19. (in Rus)]. DOI: 10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19.
19. Р 4.1.1672-03 Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004, 240 с. [Manual on methods of quality control and safety of biologically active additives in food. Moscow: Federal center of state sanitary and epidemiological control of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2004, 240 p. (In Rus)].
20. Тараховский Ю.С., Ким Ю.А., Абдрасилов Б.С. и др. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина. Пущино, 2013, 310 с. [Tarakhovskiy Yu.S., Kim Yu.A., Abdrasilov B.S., et al. Flavonoids: Biochemistry, Biophysics, Medicine. Pushino, 2013, 310 p. (in Rus)]. ISBN: 978-5-91874-043-9.
21. Упадышев М.Т. Роль фенольных соединений в процессах жизнедеятельности садовых растений. М.: ВСТИСП. изд. дом МСП, 2008, 319 с. [Upadyshev M.T. The role of phenolic compounds in the life processes of garden plants. Moscow: ARHCBAN. Ed. House of MSP, 2008, 319 p. (In Rus)]. ISBN: 978-5-902178-41-5.
22. Хапова С.А. Научное обоснование технологии культивирования земляники в Северо-Западном регионе РФ. Докт. дис. Москва: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2016. [Khapova S.A. Scientific substantiation of strawberry cultivation technology in the North-Western region of the Russian Federation. Doct. diss. Moscow: RGAU-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2016. (In Rus)].
23. Aaby K., Mazur S., Nes A., et al. Phenolic compounds in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) fruits: Composition in 27 cultivars and changes during ripening, Food Chemistry. 2012; 132(1) : 86-97. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.10.037.
24. Alarfaj R., El-Soda M., Antanaviciute L., et al. Mapping QTL underlying fruit quality traits in an F1 strawberry population, The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 2021; 96 : 634-645. DOI: 10.1080/14620316.2021.1912647.
25. Balasooriya B.L.H.N., Dassanayake K., Ajlouni S. High temperature effects on strawberry fruit quality and antioxidant contents, Acta Horticulturae. 2020; 1278 : 225-234. DOI: 10.3390/ijms17071103.
26. Belwal T., Nabavi S.F., Nabavi S.M., et al. Dietary anthocyanins and insulin resistance: When food becomes a medicine, Nutrients. 2017; 9(10) : 1111. DOI: 10.3390/nu9101111.
27. Buendía B., Gil M.I., Tudela J.A., et al. HPLC-MS Analysis of Proanthocyanidin Oligomers and Other Phenolics in 15 Strawberry Cultivars, Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2010; 58(7) : 3916-3926. DOI: 10.1021/jf9030597.
28. Cao X., Wang Y., Liao X., et al. Characterization of physico-chemical and biochemical

compositions of selected four strawberry cultivars, Journal of Applied Botany and Food Quality. 2018; 91 : 155-162. DOI: 10.5073/JABFQ.2018.091.021.
29. Cheel J., Theoduloz C., Rodriguez J., et al. E-cinnamic acid derivatives and phenolics from Chilean strawberry fruits, *Fragaria chiloensis* ssp. Chiloensis, Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2005; 53 : 8512-8518. DOI: 10.1021/jf051294g.
30. Cordenunsi B.R., Oliveira do Nascimento J.R., Genovese M.I., et al. Influence of Cultivar on Quality Parameters and Chemical Composition of Strawberry Fruits Grown in Brazil, Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002; 50(9) : 2581-2586. DOI: 10.1021/jf011421i.
31. Crecelius A.C., Hölscher D., Hoffmann T., et al. Spatial and temporal localization of flavonoid metabolites in strawberry fruit (*Fragaria × ananassa*), Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2017; 65 : 3559-3568. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b00584.
32. Davik J., Aaby K., Buti M., et al. Major-effect candidate genes identified in cultivated strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) for ellagic acid deoxyhexoside and pelargonidin-3-O-malonylglucoside biosynthesis, key polyphenolic compounds, Horticulture Research. 2020; 7 : 125. DOI: 10.1038/s41438-020-00347-4.
33. Denoyes B., Prohaska A., Petit J., et al. Deciphering the genetic architecture of fruit color in strawberry, Journal of Experimental Botany. 2023; 74(20) : 6306-6320. DOI: 0.1093/jxb/erad245.
34. Dzhanfezova T., Barba-Espın G., Müller R., et al. Anthocyanin profile, antioxidant activity and total phenolic content of a strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) genetic resource collection, Food Bioscience. 2020; 36 : 100620. DOI: 10.1016/j.fbio.2020.100620.
35. Edger P.P., Poorten T.J., VanBuren R., et al. Origin and evolution of the octoploid strawberry genome, Nature Genetics. 2019; 51 : 541-547. DOI: 10.1038/s41588-019-0356-4.
36. Fischer T.C., Mirbeth B., Rentsch J., et al. Premature and ectopic anthocyanin formation by silencing of anthocyanidin reductase in strawberry (*Fragaria × ananassa*), New Phytologist. 2014; 201(2) : 440-451. DOI: 10.1111/nph.12528.
37. Fredericks C.H., Fanning K.J., Gidley M.J., et al. High-anthocyanin strawberries through cultivar selection, Journal of the Science of Food and Agriculture. 2012; 93(4) : 846-852. DOI: 10.1002/jsfa.5806.
38. Fredes C., Montenegro G., Zoffoli J.P., et al. Comparison of the total phenolic content, total anthocyanin content and antioxidant activity of polyphenol-rich fruits grown in Chile, Ciencia e Investigación Agraria. 2014; 41(1) : 9-10. DOI: 10.4067/s0718-16202014000100005.
39. Garcia Ch., Blesso Ch.N. Antioxidant properties of anthocyanins and their mechanism of action in atherosclerosis, Free Radical Biology and Medicine. 2021; 172(200) : 152-166. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2021.05.040.
40. Hancock J.F., Sjulin T.M., Lobos G.A. (n.d.). Strawberries. Temperate Fruit Crop Breeding, 2008; 393-437. DOI: 10.1007/978-1-4020-6907-9_13.
41. Henriques J.F., Serra D., Dinis T.C.P., et al. The anti-neuroinflammatory role of anthocyanins and their metabolites for the prevention and treatment of brain disorders, International Journal of Molecular Sciences. 2020; 21(22) : 8653. DOI: 10.3390/ijms21228653.
42. Jayaprakasam B., Vareed S.K., Olson L., et al. Insulin secretion by bioactive anthocyanins and anthocyanidins present in fruits, Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2005; 53(1) : 28-31. DOI: 10.1021/jf049018.
43. Kelebek H., Selli S. Characterization of phenolic compounds in strawberry fruits by RPHPLC-DAD and investigation of their antioxidant capacity, Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies. 2011; 34(20) : 2495-2504. DOI: 10.1080/10826076.2011.591029.
44. Kim S.K., Kim D.S., Kim D.Y., et al. Variation of bioactive compounds content of 14 oriental strawberry cultivars, Food Chemistry. 2015; 184 : 196-202. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.03.060.
45. Kjersti A., Grete S., Ronald E.W. Phenolic composition and antioxidant activities in

flesh and achenes of strawberries (*Fragaria × ananassa*), Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2005; 53 : 4032-4040. DOI: 1021/jf048001o.
46. Kong J.M., Chia L.S., Goh N.K., et al. Analysis and biological activities of anthocyanins, Phytochemistry. 2003; 64 : 923-933. DOI: 10.1016/S0031-9422(03)00438-2.
47. Krüger E., Will F., Kumar K., et al. Influence of post-flowering climate conditions on anthocyanin profile of strawberry cultivars grown from north to south Europe, Applied Sciences. 2021; 11 : 1326. DOI: 10.3390/app11031326.
48. Labadie M., Vallin G., Potier A., et al. High-resolution quantitative trait locus mapping and whole genome sequencing enable the design of an anthocyanidin reductase-specific homoeo-allelic marker for fruit color improvement in octoploid strawberry (*Fragaria × ananassa*), Frontiers in Plant Science. 2022; 13 : 869655. DOI: 10.3389/fpls.2022.869655.
49. Lerceteau-Köhler E., Moing A., Guérin G., et al. Genetic dissection of fruit quality traits in the octoploid cultivated strawberry highlights the role of homoeo-QTL in their control, Theoretical and Applied Genetics. 2012; 124 : 1059-1077. DOI: 10.1007/s00122-011-1769-3.
50. Li D., Zhang X., Li L., et al. Elevated $CO_2$ delayed the chlorophyll degradation and anthocyanin accumulation in postharvest strawberry fruit, Food Chemistry. 2019a; 285 : 163-170. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.150.
51. Li D., Zhang X.C., Xu Y.Q., et al. Effect of exogenous sucrose on anthocyanin synthesis in postharvest strawberry fruit. Food Chemistry. 2019b; 289:112-120. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.03.042.
52. Li P., Feng D., Yang D.C., et al. Protective effects of anthocyanins on neurodegenerative diseases, Trends in Food Science & Technology. 2021a; 117 : 205-217. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.05.005.
53. Li Z., Zhang Z.K., Ren Y.K., et al. Aging and age-related diseases: From mechanisms to therapeutic strategies, Biogerontology. 2021b; 2(2) : 165-187. DOI: 10.1007/s10522-021-09910-5.
54. Lin Y.X., Jiang L.Y., Chen Q., et al. Comparative transcriptome profiling analysis of red- and white-fleshed strawberry (*Fragaria × ananassa*) provides new insight into the regulation of the anthocyanin pathway, Plant and Cell Physiology. 2018; 59(9) : 1844-1859. DOI: 10.1093/pcp/pcy098.
55. Liston A., Cronn R., Ashman T.-L. Fragaria: A genus with deep historical roots and ripe for evolutionary and ecological insights, American Journal of Botany. 2014; 101(10) : 1686-1699. DOI: 10.3732/ajb.1400140.
56. Mattioli R., Francioso A., Mosca L., et al. Anthocyanins: A comprehensive review of their chemical properties and health effects on cardiovascular and neurodegenerative diseases, Molecules. 2020; 25 : 1230-1240. DOI: 10.3390/molecules25173809.
57. Miller K., Feucht W., Schmid M. Bioactive compounds of strawberry and blueberry and their potential health effects based on human intervention studies: a brief overview, Nutrients. 2019; 11 : 1510. DOI: 10.3390/nu11071510.
58. Musilová J., Trebichalský P., Timoracká M., et al. Cultivar as one of the factors affecting the anthocyanin content and antioxidant activity in strawberry fruits, Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2013; 2 : 1765-1775.
59. Nowicka A., Kucharska A.Z., Sokół-Łętowska A., et al. Comparison of polyphenol content and antioxidant capacity of strawberry fruit from 90 cultivars of *Fragaria × ananassa* Duch., Food Chemistry. 2019; 270 : 32-46. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.07.015.
60. Nunes G., Teixeira F., Schwarz K. Influence of genetic variability on the quality of strawberry cultivars: sensorial, physical-chemical and nutritional characterization, Acta Scientiarum – Agronomy. 2021; 43 : e46862. DOI: 10.4025/actasciagron.v43i1.46862.
61. Padula M., Lepore L., Milella L., et al. Cultivar based selection and genetic analysis of strawberry fruits with high levels of health promoting compounds, Food Chemistry. 2013; 140(4) : 639-646. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.11.025.

62. Paparozzi E.T., Meyer G.E., Schlegel V., et al. Strawberry cultivars vary in productivity, sugars and phytonutrient content when grown in a greenhouse during the winter, Scientia Horticulturae. 2018; 227(1) : 1-9. DOI: 10.1016/j.scienta.2017.07.048.
63. Pott D.M., Vallarino J.G., Cruz-Rus E., et al. Genetic analysis of phenylpropanoids and antioxidant capacity in strawberry fruit reveals mQTL hotspots and candidate genes, Scientific Reports. 2020; 10 : 20197. DOI: 10.1038/s41598-020-76946-x.
64. Qiao Q., Edger P.P., Xue L., et al. Evolutionary history and pan-genome dynamics of strawberry (Fragaria spp.), Proceedings of the National Academy of Sciences. 2021; 118 : e2105431118. DOI: 10.1073/pnas.2105431118.
65. Qin Y., Silva J.A.T.D., Zhang L., et al. Transgenic strawberry: State of the art for improved traits, Biotechnology Advances. 2008; 26(3) : 219-232. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2007.12.004.
66. Ring L., Yeh S.Y., Hücherig S., et al. Metabolic interaction between anthocyanin and lignin biosynthesis is associated with peroxidase FaPRX27 in strawberry fruit, Plant Physiology. 2013; 163 : 43-60. DOI: 10.1104/pp.113.222778.
67. Salvatierra A., Pimentel P., Moya-Leon M.A., et al. Biosynthesis of flavonoids in achenes of *Fragaria chiloensis* ssp chiloensis, Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas. 2014; 13(4) : 406-414.
68. Seeram N.P., Adams L.S., Zhang Y., et al. Blackberry, Black Raspberry, Blueberry, Cranberry, Red Raspberry, and Strawberry Extracts Inhibit Growth and Stimulate Apoptosis of Human Cancer Cells *in vitro*, Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2006; 54 : 9329-9339. DOI: 10.1021/jf061750g.
69. Senger E., Osorio S., Olbricht K. Towards smart and sustainable development of modern berry cultivars in Europe, The Plant Journal. 2022; 111 : 1238-1251. DOI: 10.1111/tpj.15876.
70. Shen J.C., Shao W.L., Du Z.K., et al. Integrated metabolomic and transcriptomic analyses reveal differences in the biosynthetic pathway of anthocyanins in Fragaria nilgerrensis and *Fragaria pentaphylla*, Scientia Horticulturae. 2020; 271 : 109476. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109476.
71. Shishtar E., Rogers G.T., Blumberg J.B., et al. Long-term dietary flavonoid intake and risk of Alzheimer disease and related dementias in the Framingham Offspring Cohort, The American Journal of Clinical Nutrition. 2020; 112 : 343-353. DOI: 10.1093/ajcn/nqaa079.
72. Silva F.L.D., Escribano-Bailon M.T., Alonso J.J.P., et al. Anthocyanin pigments in strawberry, Food Science and Technology. 2007; 40(1) : 374-382. DOI: 10.1016/j.lwt.2005.09.018.
73. Simirgiotis M.J., Theoduloz C., Caligari P.D.S., et al. Comparison of phenolic composition and antioxidant properties of two native Chilean and one domestic strawberry genotypes, Food Chemistry. 2009; 113(2) : 377-385. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.07.043.
74. Singh A., Singh B.K., Deka B.C., et al. The genetic variability, inheritance and inter-relationships of ascorbic acid, carotene, phenol and anthocyanin content in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.), Scientia Horticulturae. 2011; 129(1) : 86-90. DOI: 10.1016/j.scienta.2011.03.011.
75. Sirijan M., Pipattanawong N., Saeng-on B., et al. Anthocyanin content, bioactive compounds and physic-chemical characteristics of potential new strawberry cultivars rich in anthocyanins, Journal of Berry Research. 2020; 10 : 397-410. DOI: 10.3233/JBR190487.
76. Skrovankova S., Sumczynski D., Mlcek J., et al. Bioactive Compounds and Antioxidant Activity in Different Types of Berries, International Journal of Molecular Sciences. 2015; 16(10) : 24673-24706. DOI: 10.3390/ijms161024673.
77. Thill J., Miosic S., Gotame T.P., et al. Differential expression of flavonoid 3'-hydroxylase during fruit development establishes the different B-ring hydroxylation patterns of flavonoids in *Fragaria* × *ananassa* and *Fragaria vesca*, Plant Physiology and Biochemistry. 2013; 72 : 72-78. DOI: 10.1016/j. plaphy.2013.03.019.

78. Tonutare T. Possibilities to affect antioxidant properties of strawberries and some methodical aspects in their determination: Thesis for applying for the degree of Doctor of Philosophy in Agriculture, Estonian University of Life Sciences. Tartu, 2015.
79. Treutter D. Significance of Flavonoids in Plant Resistance and Enhancement of Their Biosynthesis, Plant Biology. 2005; 7 : 581-591. DOI: 10.1055/s-2005-873009.
80. Urrutia M., Schwab W., Hoffmann T., et al. 2016. Genetic dissection of the (poly) phenol profile of diploid strawberry (*Fragaria vesca*) fruits using a NIL collection, Plant Science. 2016; 242 : 151-168. DOI: 10.1016/j.plantsci.2015.07.019.
81. Voča S., Dobričević N., Dragović-Uzelac V. Fruit Quality of New Early Ripening Strawberry Cultivars in Croatia, Food Technology & Biotechnology. 2008; 46(3) : 292-298.
82. Wang H., Zhang H., Yang Y., et al. The control of red colour by a family of MYB transcription factors in octoploid strawberry (*Fragaria × ananassa*) fruits, Plant Biotechnology Journal. 2020; 18 : 1169-1184. DOI: 10.1111/pbi.13282.
83. Wang L.K., McGhie T.K., Wang M. Engineering the anthocyanin regulatory complex of strawberry (*Fragaria vesca*), Frontiers in plant science. 2014; 5 : 651. DOI: 10.3389/fpls.2014.00651.
84. Wang S.Y., Lewers K.S. Antioxidant capacity and flavonoid content in wild strawberries, Journal of the American Society for Horticultural Science. 2007; 132(5) : 629-637.
85. Yildiz H., Ercisli S., Hegedus A., et al. Bioactive content and antioxidant characteristics of wild (*Fragaria vesca* L.) and cultivated strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) fruits from Turkey, Journal of Applied Botany and Food Quality. 2014; 87 : 274-278. DOI: 10.5073/JABFQ.2014.087.038.
86. Yoshida Y., Koyama N., Tamura H. Color and Anthocyanin Composition of Strawberry Fruit. Changes during Fruit Development and Differences among Cultivars, with Special Reference to the Occurrence of Pelargonidin 3-malonylglucoside, Engei Gakkai Zasshi. 2002; 71(3) : 355-361. DOI: 10.2503/jjshs.71.355.
87. Yu C., Ranieri M., Lv D., et al. Phenolic composition and antioxidant capacity of newly developed strawberry lines from British Columbia and Quebec, International journal of food properties. 2011; 14(1) : 59-67.
88. Zeliou K., Papasotiropoulos V., Manoussopoulos Y., et al. Physical and chemical quality characteristics and antioxidant properties of strawberry cultivars (*Fragaria × ananassa* Duch.) in Greece: assessment of their sensory impact, Journal of the Science of Food and Agriculture. 2018; 98(11) : 4065-4073. DOI: 10.1002/jsfa.8923.
89. Zhang J., Lei Y., Wang B., et al. The high-quality genome of diploid strawberry (*Fragaria nilgerrensis*) provides new insights into anthocyanin accumulation, Plant Biotechnology Journal. 2020; 18(9) : 1908-1924. DOI: 10.1111/pbi.13351.
90. Zhao Y. Berry fruit: Value added products for health promotion. CRC Press Naylor and Francis Group, LLC, Boca Raton, FL, 2007, 430 p.
91. Zingaretti L.M., Monfort A., Pérez-Enciso M. Automatic fruit morphology phenome and genetic analysis: an application in the octoploid strawberry, Plant Phenomics. 2021; 9812910. DOI: 10.34133/2021/9812910.

## CONTENT, COMPOSITION AND BIOSYNTHESIS OF ANTHOCYANINS IN FRUITS OF DIFFERENT FRAGARIA L. GENOTYPES (REVIEW)

**Zhbanova Ye.V., Lukyanchuk I.V., Lyzhin A.S.**

*I.V. Michurin Federal Scientific Centre,*
*Michurinsk, Russia, e-mail: shbanovak@yandex.ru*

The colour of strawberry fruits is the most important feature influencing consumer preferences and can vary from white to light orange and from scarlet to almost black. It is necessary to study the total content, composition and regulation of anthocyanin biosynthesis in different *Fragaria* species. This will facilitate the development of anthocyanin-rich strawberry cultivars to meet the growing demand for health-promoting compounds in the human diet. The purpose of the work was to highlight the latest achievements in studying the specifics of the anthocyanin profile in fruits of different *Fragaria* genotypes, issues of anthocyanin biosynthesis and decoding of structural and regulatory genes involved in the formation of fruit color. The anthocyanin content in strawberry cultivars, according to data obtained by Russian and foreign researchers, averages 48.0 ±3.8 mg/100 g and varies from 3.6 mg/100 g to 171.6 mg/100 g. The relative proportions of different anthocyanins can have a significant effect on fruit colour: pelargonidin derivatives give fruits a bright red colour, while cyanidin derivatives give fruits a dark red colour. In the garden strawberry the predominant anthocyanin is pelargonidin-3-glucoside; the second most abundant anthocyanin is pelargonidin-3-malonyl glucoside; cyanidin-3-glucoside is present in smaller amounts. Cyanidin-3-glucoside chloride, cyanidin-3-galactoside and cyanidin 3-glucoside were determined in the fruits of *F. pentaphylla* and *F. nilgerrensis.* Cyanidin-3-glucopyranoside is the most abundant anthocyanin in *F. chiloensis* fruits. The fruits of *F. vesca* accumulate mainly cyanidin glucosides. It has been established that the *MYB10* protein (encoded by the *FaMYB10* gene) is a transcription factor for anthocyanin biosynthesis in strawberry fruits. Various loss-of-function mutations of the *FaMYB10* gene impair anthocyanin biosynthesis and cause much of the color variation observed in wild and cultivated strawberries.

***Key words:*** genus Fragaria, genotype, anthocyanins, pelargonidin-3-glucoside, antioxidant activity, *MYB10.*