

УДК 634.75:581.192

doi: 10.17223/19988591/38/8

И.В. Лукьянчук, Е.В. Жбанова

*Селекционно-генетический центр – Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и селекции плодовых растений
им. И.В. Мичурина, г. Мичуринск, Россия*

Оценка генетической коллекции земляники по содержанию в плодах антоцианов

Отражены результаты многолетнего исследования накопления антоцианов в ягодах большого набора сортов, гибридных сеянцев, элитных и отборных форм земляники генетической коллекции Всероссийского НИИ генетики и селекции плодовых растений им. И.В. Мичурина. На основе анализа разнообразного и многочисленного сортового фонда земляники установлено, что содержание антоцианов в плодах в среднем по коллекции находится на невысоком уровне и составляет 52,3 мг/100 г сырой массы (это указывает на недостаточное внимание в селекции к созданию форм с повышенным содержанием данных веществ), при этом размах варьирования количества антоцианов в плодах находится в широком диапазоне – 10,5–171,6 мг/100 г. Изменчивость данного признака у гибридных сеянцев больше и составляет от 6,0 до 242,0 мг/100 г. Выделены перспективные генотипы с высоким накоплением антоцианов, представляющие интерес для селекции и практического использования: сорта Фейерверк – 107,4 мг/100 г, Привлекательная – 106,3 мг/100 г, Рубиновый кулон – 103,1 мг/100 г, отборные сеянцы 3/2-3 (Фейерверк × Львовская ранняя) – 242,0 мг/100 г, 3/3-16 (Фейерверк × Марышка) – 176,0 мг/100 г, 3/6-15 (Рубиновый кулон × Марышка) – 165,0 мг/100 г, 3/6-72 (Рубиновый кулон × Марышка) – 178,2 мг/100 г. Выявлено, что, несмотря на все разнообразие гибридного потомства по содержанию антоцианов, наибольшее количество сеянцев с высоким их накоплением (от 80,0 до 100,0 мг/100 г и выше) получено в семьях, где обе родительские формы обладают высоким уровнем признака (Фейерверк, Привлекательная, Рубиновый кулон). Данные сорта рекомендуется использовать в качестве источников и доноров высокого содержания антоцианов в дальнейшей селекции.

Ключевые слова: *Fragaria × ananassa* Duch; селекция; сорта; гибридные сеянцы; элитные формы.

Введение

За последние десятилетия антоцианы плодов и ягод стали темой многочисленных исследований. Их состав и количество во многом определяют пригодность сортов к замораживанию и технологической переработке, Р-витаминные и антиоксидантные свойства ягод. Установлено, что антиоксидантная активность коррелирует с общим содержанием фенольных со-

единений, в том числе с антоцианами. Это весьма мощные антиоксиданты, обладающие большей эффективностью, чем витамины С и Е [1–3]. В эпидемиологических исследованиях показано, что умеренное потребление продукции с высоким содержанием антоцианов позволяет снизить риск сердечно-сосудистых заболеваний [3, 4]. Кроме того, они характеризуются противовоспалительными, антимикробными, гепатопротекторными свойствами [1, 2]. По химическому составу антоцианы являются гликозидами – веществами, молекулы которых состоят из неуглеводной части (агликона) и углеводного остатка. Агликоны антоцианов называют антоцианидинами. К настоящему времени идентифицировано более тридцати различных антоцианидинов, при этом основная их часть (более 90%) представлена пеларгонидином (Pg), цианидином (Cy), пеонидином (Pn), дельфинидином (Dp), петунидином (Pt) и мальвидином (Mv). Разнообразие антоцианов обусловлено количеством гидроксильных групп, природой и количеством присоединенных к молекуле сахаров, положением гликозилирования, природой и количеством алифатических или ароматических кислот, присоединенных к сахарам. В настоящее время обнаружено более 500 антоцианов различного строения, и число идентифицированных веществ быстро растет по мере совершенствования методов анализа [1, 3].

В ягодах земляники антоцианы составляют 58,1–81,0% от общего содержания фенольных соединений [5]. Спектр антоцианов, характерных для данной культуры, включает 3-глюкозиды и 3-рутинозиды цианидина и пеларгонидина, ацилированные производные пеларгонидина и цианидина – пеларгонидин-3(сукцинил)глюкозид и цианидин-3(сукцинил)глюкозид, пеларгонидин-3(малонил)глюкозид, пеларгонидин-3(6"-ацетил)глюкозид, а также пеларгонидин-3-диглюкозид [6]. Многими авторами отмечается, что, независимо от генетического происхождения сортов и экологических факторов, доминирующим антоцианом в плодах земляники, составляющим до 95% от их общего количества, является пеларгонидин-3-глюкозид. Второй по распространенности антоциан земляники – пеларгонидин-3(малонил)глюкозид. Наличие цианидин-3-глюкозида является постоянным для земляники, хотя содержится он в меньшем количестве, чем пеларгонидин-3-глюкозид и пеларгонидин-3(малонил)глюкозид [5–11]. Различные сорта *F. ananassa* × Duch. по содержанию антоцианов имеют значительное варьирование – от 5 (Ананасная белая, Абрикос, Любительская) до 100 и более миллиграммов на 100 г мякоти плодов (Рубиновый кулон, Чернобровка, Белруби, Дукал, Довер, Дарроу) [12].

Все признаки октоплоидной земляники ананасной, в том числе связанные с биохимическим составом плодов, имеют полигенный контроль [12, 13]. Установлено, что содержание антоцианов наследуется количественно с частичным доминированием высокого содержания и частыми случаями проявления положительного гетерозиса или трансгрессии по данному признаку. По сообщению С.А. Lundergan, J.N. Moore, величина наследуемости содер-

жания антоцианов в широком смысле (H^2) достигает высокого уровня – 0,81, что свидетельствует о зависимости выраженности этого признака преимущественно от генетических факторов и в малой степени от условий среды [14]. Другие исследователи также указывают на высокий уровень генетической обусловленности признака – 96,5% [15]. Все эти данные свидетельствуют об эффективности улучшения земляники по содержанию в плодах антоцианов путем гибридизации и дальнейшего отбора [12].

В селекции на улучшение химического состава ягод большой интерес представляют такие комбинации скрещивания, которые обеспечивают положительную трансгрессию селектируемого признака. Трансгрессия – эффект суммирующего действия полимерных генов, выражающийся в устойчивом увеличении (положительная трансгрессия) или уменьшении (отрицательная трансгрессия) значения какого-либо полимерно наследующегося признака у отдельных особей F_2 по сравнению с крайними (+, –) значениями этого признака у родительских форм [16]. Следует отметить, что у гетерозиготных плодовых и ягодных культур при скрещивании трансгрессивное расщепление наблюдается в потомстве, полученном непосредственно от этого скрещивания; так как это потомство не является F_1 , его следует рассматривать как F_n [17]. С.Д. Айтжанова [18] в качестве лучших доноров по содержанию антоцианов выделяет сорта Сюрприз олимпиаде, Рубиновый кулон и элитный отбор 167-9 (Кокинская ранняя \times Сюрприз олимпиаде). По ее мнению, наследование данного признака носит, как правило, промежуточный характер с уклонением в сторону лучшего или худшего родителя. Выщепление значительного количества трансгрессивных сеянцев отмечено лишь в комбинациях, где оба родителя не обладали крайней степенью выраженности этого признака. Не установлено существенных различий в наследовании антоцианов при прямых и обратных скрещиваниях внутри вида *F. \times ananassa*. Отмечена средняя положительная связь между растворимыми сухими веществами и антоцианами. Обнаружено отсутствие тесной связи между массой ягод и содержанием в них антоцианов, что дает возможность создавать крупноплодные сорта земляники с оптимальным биохимическим составом.

Большое значение в своей работе придавал селекции земляники на повышенное накопление в ягодах антоцианов профессор А.А. Зубов. Им изучалась комбинационная способность сортов по признакам качества ягод, в том числе содержанию антоцианов, с использованием диаллельных скрещиваний и генетико-статистических методов анализа потомства [19]. Наиболее высокую общую комбинационную способность (ОКС) по накоплению антоцианов имели сорта Редкоут, Зенга Зенгана, Лакомая, Рубиновый кулон. Они рекомендованы для селекции на улучшенный химический состав ягод. Лучшие комбинации родителей по содержанию антоцианов – Мариева \times Редкоут, Зенга Зенгана \times Фейрфакс, Зенга Зенгана \times Редкоут, Лакомая \times Редкоут, Фестивальная \times Белруби. Дополнены сведения в данном направ-

лении и другими исследователями [20]. Так, высокое значение ОКС имели сорта Привлекательная и элита 298-22-19-21, в качестве лучшей по содержанию антоцианов выделена комбинация Привлекательная × Кама. Таким образом, в связи с возрастающим интересом к антоцианам плодов и ягод изучение генетической коллекции земляники по уровню накопления антоцианов в плодах и их наследование в гибридном потомстве представляются весьма актуальными.

Целью настоящего исследования являлись выявление изменчивости содержания антоцианов в плодах земляники в зависимости от генетического происхождения изучаемых форм, определение пределов их варьирования у сортов и гибридных сеянцев, а также выделение перспективных генотипов – ценных источников и доноров высокого их накопления.

Материалы и методики исследования

В работе обобщены результаты многолетних исследований по содержанию антоцианов у сортов, гибридных сеянцев, отборных и элитных форм земляники генетической коллекции, собранной в лаборатории частной генетики и селекции ФГБНУ ВНИИГиСПР им. И.В. Мичурина (г. Мичуринск, Тамбовская область).

В полевых условиях для массовой оценки содержания антоцианов у большого числа гибридных сеянцев применяли разработанную во ВНИИГиСПР им. И.В. Мичурина А.А. Зубовым и К.В. Станкевич шкалу, в которой имеются цветной рисунок и цифровое выражение их количества [21]. Сравнивая окраску свежих плодов земляники того или иного генотипа с аналогичным цветом на этой шкале, исследователь устанавливает количественное содержание антоцианов в образцах согласно соответствующему цифровому значению шкалы. Этот метод позволяет быстро и довольно точно оценить большое количество гибридов и сортов по данному показателю в полевых условиях. Предварительно отобранные формы, представляющие интерес по накоплению антоцианов, в дальнейшем анализировались в лабораторных условиях. Анализы проводили в период массового созревания плодов (II–III декада июня).

Для определения суммарного содержания антоцианов использовали спектрофотометрический метод. Навеску свежих ягод (1 г) экстрагировали смесью 96%-ного этилового спирта и 1,5н соляной кислоты в соотношении 85:15. Растертую пробу переносили на воронку Бюхнера, полученный фильтрат доводили до определенного объема экстрагентом. Экстракт переносили в склянки с притертой пробкой, выдерживали в темноте. В таких условиях происходит полное превращение антоцианов в катионную, окрашенную форму. Содержание антоцианов определяли на спектрофотометре (Genesys 10uv, США) при длине волны 535 нм в кювете с рабочей длиной 1 см.

Содержание антоцианов рассчитывали по формуле

$$A = \frac{E_{535} \cdot V \cdot 100 \cdot K}{n},$$

где A – концентрация антоцианов в мг на 100 г навески; E – оптическая плотность раствора; V – объем, мл; n – масса навески в г; K – 98,2 – коэффициент, вычисленный на основе экстинкционных коэффициентов 1%-ных растворов антоцианов (цианидин-3-галактозида и цианидин-3-арабинозида) при работе с кюветой толщиной в 1 см [22].

Статистическая обработка данных (вычисление средней арифметической (\bar{x}), стандартной ошибки средней арифметической ($S_{\bar{x}}$), коэффициента вариации (V)) проводили по стандартным методикам [23] с использованием программ Microsoft Excel 7.0 и StatSoft STATISTICA 6.0. Для сравнительной трансгрессивной изменчивости в различных комбинациях скрещивания определяли максимальную и среднюю степени трансгрессии и частоту трансгрессии [12].

Степень трансгрессии – величина превышения по определенному признаку лучшим гибридом лучшей родительской формы. Выражается в процентах и вычисляется по формуле

$$T_c = \frac{P_r \cdot 100}{P_p} - 100,$$

где P_r – максимальное значение признака лучшего гибрида; P_p – максимальное значение признака лучшего родителя.

Частота трансгрессии также выражается в процентах и находится по формуле

$$T_{\text{ч}} = \frac{A}{B} \cdot 100,$$

где A – количество гибридов, превосходящих по признаку лучшую родительскую форму; B – общее количество изученных гибридов.

По мнению А.А. Зубова, лучше степень трансгрессии называть максимальной степенью трансгрессии определенной выборки ($T_{\text{с макс.}}$). Для сравнительной оценки трансгрессивной изменчивости в разных комбинациях скрещивания он рекомендует определять среднюю степень трансгрессии $T_{\text{с средн.}}$, вычисляемую с использованием показателей всех трансгрессивных сеянцев, которая меньше варьирует с изменением величины выборки. Формула ее вычисления следующая:

$$T_{\text{с средн.}} = \frac{\sum \left[\frac{P_r \cdot 100\%}{P_p} - 100 \cdot f \right]}{A} = \frac{\sum (T_c \cdot f)}{A},$$

где \sum – сумма; f – число повторяющихся сеянцев с определенным значением признака, превосходящим его значение у лучшей родительской формы; P_r – значение признака гибрида, превосходящее максимальное значение того же признака у лучшей родительской формы; P_p – максимальное значение признака лучшей родительской формы во взятой выборке; A – количество гибридов, превосходящих по признаку лучшую родительскую фор-

му; T_c – степень трансгрессии конкретного гибридного сеянца или группы сеянцев.

Средняя степень трансгрессии при оценке различных комбинаций скрещивания является важным показателем, так как при одинаковой максимальной степени и частоте трансгрессии она может быть различной, и предпочтение следует отдавать тем комбинациям, у которых этот показатель выше [12].

Результаты исследования и обсуждение

Многие зарубежные исследователи определили средний уровень накопления антоцианов в ягодах земляники в пределах от 15,0 до 60,0 мг/100 г сырой массы. Более того, обнаружены формы с содержанием данных веществ до 80,0 мг/100 г [8]. Сорта со светлоокрашенными ягодами и, соответственно, низким уровнем антоцианов (менее 50,0 мг/100 г) малоценны [12]. Однако проведенный анализ большого количества сортов (73) различного эколого-географического происхождения показал, что на их долю приходится значительная часть исследованных форм (52,3%). Количество генотипов с уровнем накопления антоцианов в пределах 50,0–80,0 мг/100 г составило 38,5%. Сорт с высоким (80,1–100,0 мг/100 г) и очень высоким (более 100,0 мг/100 г) содержанием антоцианов значительно меньше – по 4,6% соответственно (рис. 1).

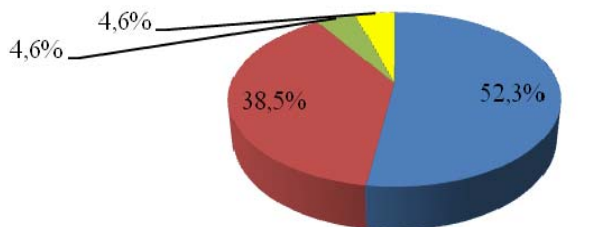


Рис. 1. Процентное соотношение сортов земляники по содержанию антоцианов в плодах.

Группы сортов с содержанием антоцианов, мг/100 г
[Groups of varieties with anthocyanin content, mg/100g]:

■ – < 50,0; ■ – 50,1–80,0; ■ – 80,1–100,0; ■ – >100,0

[Fig. 1. Percentage of strawberry varieties to anthocyanin content in fruits]

Различия по накоплению антоцианов между сортами весьма велики (рис. 2). Минимальное за годы исследований накопление антоцианов отмечено у сорта Кария (10,5 мг/100 г), максимальное – у сорта Рубиновый кулон (171,6 мг/100 г) при среднем значении по всем сортам 52,3 мг/100 г. Многие современные сорта американской (Сельва, Камароза, Хоней), голландской (Вима Рина, Вима Занта, Вима Кимберли), итальянской (Джоли, Ароза, Клэри, Галя чив) селекции характеризуются светлой окраской плодов и содержат менее 50,0 мг/100 г антоцианов (см. рис. 2). Сорт Камароза, ко-

торый охватывает примерно 50% мирового рынка земляники [24], по нашим данным, накапливает всего 36 мг/100 г антоцианов. К богатым антоцианами сортам земляники следует отнести: Зенга Зенгана, Лакомая, Привлекательная, Рубиновый кулон, Торпеда, Фейерверк.

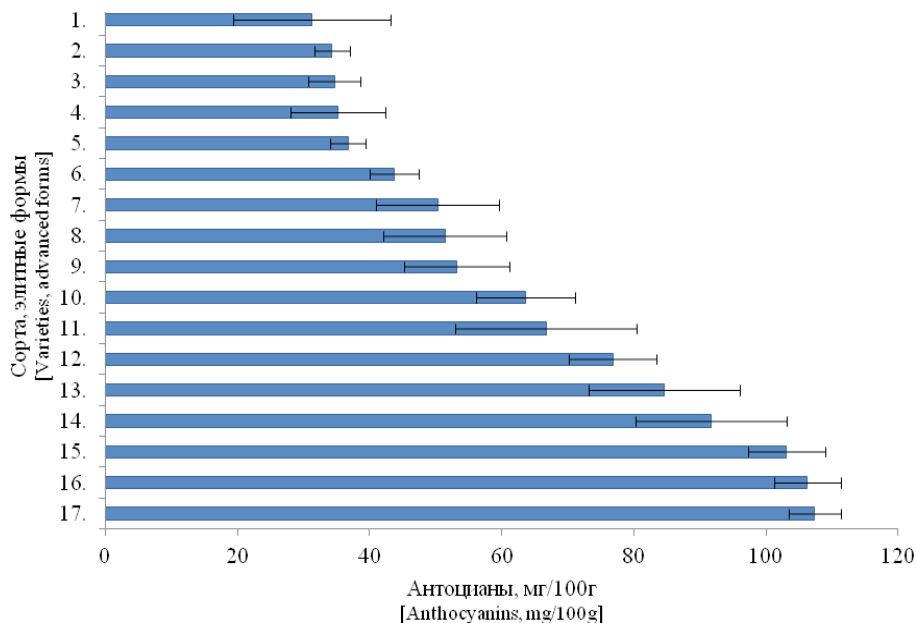


Рис. 2. Сравнительная оценка ряда сортов и элитных форм земляники по накоплению в ягодах антоцианов. По вертикали – сорта и элитные формы земляники; по горизонтали – суммарное количество антоцианов, мг/100 г: 1 – Эльсанта; 2 – Вима Занта; 3 – Ред Гонтлет; 4 – Хоней; 5 – Барлидаун; 6 – Урожайная ЦГЛ; 7 – Фаветта; 8 – Хуммиджента; 9 – Корона; 10 – Кама; 11 – Памяти Зубова; 12 – Элита 298-22-19-21; 13 – Лакомая; 14 – Элита 613-30; 15 – Рубиновый кулон; 16 – Привлекательная; 17 – Фейерверк

[Fig. 2. Comparative evaluation of some strawberry varieties and advanced forms for the accumulation of anthocyanins in fruits. On the X-axis - Varieties and advanced forms of strawberries; on the Y-axis - Total number of anthocyanins, mg /100 g: 1 - Elsanta; 2 - Vima Zanta; 3 - Red Gauntlet; 4 - Honeoye; 5 - Barlidaun; 6 - Urozhaynaya CGL; 7 - Favetta; 8 - Khummidzhenta; 9 - Korona; 10 - Kama; 11 - Pamyati Zubova; 12 - Advanced form 298-22-19-21; 13 - Lakomaya; 14 - Advanced form 613-30; 15 - Rubinovy kulon; 16 - Privlekatel'naya; 17 - Feyerverk]

Сорта Привлекательная, Рубиновый кулон, Фейерверк селекции ФГБНУ ВНИИГиСПР сочетают высокое (более 100 мг/100г по среднесуточным данным) и стабильное накопление антоцианов в ягодах. Причем получены они при использовании в гибридизации ценного донора по данному признаку – сорта Зенга Зенгана. Также высоким уровнем антоцианов (до 91,7 мг/100 г) отличаются сорта и элитные формы Памяти Зубова, Флора, 298-22-19-21, 613-30, 750-30 (табл. 1).

Т а б л и ц а 1 [Table 1]

**Сорта и элитные формы земляники – ценные источники
высокого содержания антоцианов**
[Strawberry varieties and advanced forms as important sources of high anthocyanin content]

Сорт, элитная форма [Variety, advanced form]	Происхождение [Origin]	Содержание антоцианов, мг/100 г [Anthocyanin content, mg/100 g]		Коэффициент вариации [Coefficient of variation] V, %
		Размах варьирования, min–max [Range of varying, min–max]	Среднее [Mean], $\bar{x} \pm m$	
Зенга Зенгана [Zenga Zengana]	Германия, сеянец Марке × Зигер [Germany, Marke plantlet × Ziger]	48,4–110,0	73,4±14,5	39,1
Рубиновый кулон [Rubinovy kulon]	Зенга Зенгана × Фейрфакс [Zenga Zengana × Fairfax]	79,4–171,6	103,1±5,8	21,8
Фейерверк [Feyerverk]	Зенга Зенгана × Фейрфакс [Zenga Zengana × Fairfax]	70,4–136,4	107,4±4,0	14,8
Лакомая [Lakomaya]	Зенга Зенгана × Редкоут [Zenga Zengana × Redcoat]	57,2–136,4	84,6±11,4	38,0
Флора [Flora]	Зенга Зенгана × Редкоут [Zenga Zengana × Redcoat]	78,8–88,0	83,5±2,3	5,5
Привлекательная [Privlekatel'naya]	Рубиновый кулон × Олбриттон [Rubinovy kulon × Allbritton]	74,8–138,6	106,3±5,1	17,9
Элита 613-30 [Advanced form 613-30]	Рубиновый кулон × Лакомая [Rubinovy kulon × Lakomaya]	79,2–114,6	91,7±9,9	21,5
Элита 750-30 [Advanced form 750-30]	Рубиновый кулон × Скотт [Rubinovy kulon × Scott]	74,8–123,2	90,4±9,9	24,5
Отборная форма 922-67 [Selected form 922-67]	516-167 × Кардинал × Привлекательная [Cardinal × Privlekatel'naya]	83,6–85,8	84,7	–

Поскольку генетическая вариация содержания антоцианов в ягодах земляники состоит в основном из аддитивной компоненты, возможно проводить подбор родительских форм по фенотипу.

Как отмечал А.А. Зубов, наиболее эффективным методом для достижения этой цели является самоопыление сортов с относительно высоким содержанием антоцианов, отбор и скрещивание выдающихся по данному признаку инбредных сеянцев J_1 и J_2 и получение гетерозисных гибридов [12]. Этим методом во ВНИИГиСПР им. И.В. Мичурина получены элитные сеянцы с очень высоким для земляники содержанием антоцианов – до 160 мг/100 г.

Анализ сортового фонда в дальнейшем позволил провести гибридизацию и получить достаточно разнообразный материал по содержанию в ягодах антоцианов. Размах варьирования по данному показателю у гибридных семян очень большой: от 6,0 до 242,0 мг/100 г. Несмотря на все разнообразие гибридного потомства по содержанию антоцианов, наибольшее количество семян с высоким их накоплением (от 80,0 до 100,0 мг/100 г и выше) получено в семьях, где в качестве родительских форм использовали сорта с высоким уровнем признака (Фейерверк, Привлекательная, Рубиновый кулон).

Так, наибольший выход темноокрашенных семян с количеством антоцианов в ягодах более 80,0 мг/100 г получен в семьях: Привлекательная × 298-22-19-21 (45,2%), Привлекательная × Кама (34,2%), где средняя степень трансгрессии составляла выше 20,0%. Частота трансгрессии в комбинациях Привлекательная × 298-22-19-21 составляла 9,7%, Привлекательная × Кама – 6,3% (табл. 2).

Трансгрессивные семена в указанных семьях накапливали в плодах свыше 100 мг/100 г антоцианов, что превышало их содержание у лучшей родительской формы (сорт Привлекательная). В комбинации (516-167 × Кардинал) × Фейерверк максимальная степень трансгрессии (T_c макс.) по содержанию в ягодах антоцианов составляла 20,4%, частота трансгрессии (T_q) – 23,1%; в семье (516-167 × Кардинал) × Привлекательная T_c макс. составляла 10,5%, T_q – 16,7%. В комбинации Привлекательная × 298-22-19-21 на долю светлоокрашенных семян (содержание антоцианов менее 60,0 мг/100 г) приходилось 38,7%; Привлекательная × Кама (оба родительских сорта характеризуются высоким накоплением антоцианов) – 34,2%; Урожайная ЦГЛ × Кама (контрастные по содержанию антоцианов родительские формы) – 70,4%.

Темной окраской ягод и очень высоким содержанием антоцианов характеризовались отдельные семена, полученные с участием сортов Фейерверк и Рубиновый кулон: 3/2-3 (Фейерверк × Львовская ранняя) – 242,0 мг/100 г; 3/3-16 (Фейерверк × Марышка) – 176,0 мг/100 г; 3/6-15 (Рубиновый кулон × Марышка) – 165,0 мг/100 г; 3/6-72 (Рубиновый кулон × Марышка) – 178,2 мг/100 г. У гибридных семян 3/6-15 и 3/6-72 также отмечен высокий уровень содержания витамина С (81,4 мг/100 г).

Отборный сеянец 5/1-10 (922-67 × Марышка) накапливал до 163,7 мг/100 г антоцианов, где одна из исходных форм (922-67), полученная с участием сорта Привлекательная, характеризуется высоким их содержанием. Отборный сеянец 1/6-2 (Рубиновый кулон × Марышка) также характеризуется высоким накоплением антоцианов (112,2 мг/100 г). В отдельные годы изучения отборные семена 914-30, 914-33, 914-67 (Фестивальная × Привлекательная), 924-56 (206-88-7 × Фейерверк), 921-24 ((516-167 × Кардинал) × Фейерверк), 915-32, 915-36 (298-22-19-21 × Фейерверк) накапливали антоцианы в значительных количествах (104,5–167,2 мг/100 г).

Т а б л и ц а 2 [Table 2]
 Степень и частота трансгрессии по содержанию в ягодах антоцианов у гибридного потомства земляники
 [Transgression degree and frequency for anthocyanin content in strawberry fruits of hybrid progeny]

Гибридная комбинация [Hybrid combination]	Содержание антоцианов, мг/100 г [Anthocyanin content, mg/100 g]		Коеф- фициент вариации [Coefficient of variation] V, %	Содержание антоцианов у лучшего родителя, мг/100 г [Anthocyanin content in the best parent, mg / 100 g]	T _c сред. [Average, Ts], %	T _c макс. [Max, Ts], %	Частота транс- грессии, (T _c) [Transgres- sion fr.], %
	Среднее по комбинации [Average for combination] (x±m)	Размах варьирования [Range x varying] (min-max)					
Фейерверк × Марышка [Feuerwerk × Maryshka]	56,7±5,6	40,0–80,0	24,1	105,6	–	–	–
Фейерверк [Feuerwerk] × 298-19-9-43	53,8±3,0	20,0–90,0	34,3	105,6	–	–	–
Рубиновый кулон × Марышка [Rubinovy kulon × Maryshka]	56,7±18,6	20,0–80,0	56,7	171,6	–	–	–
Рубиновый кулон [Rubinovy kulon] × 298-22-19-21	72,0±8,0	50,0–90,0	24,8	171,6	–	–	–
Урожайная ЦГЛ [Urozhaynaya CGL] × 750-30	51,8±3,6	10,0–90,0	42,3	80,0	12,5	12,5	7,9
Урожайная ЦГЛ × Кама [Urozhaynaya CGL × Kama]	45,9±4,0	10,0–80,0	45,7	83,6	–	–	–
Урожайная ЦГЛ × Львовская ранняя [Urozhaynaya CGL × L'vovskaya rannaya]	44,6±9,7	10,0–130,0	78,5	39,6	76,8	228,3	53,8
Урожайная ЦГЛ [Urozhaynaya CGL] × 298-22-19-21	54,3±4,8	6,0–120,0	45,5	70,0	26,2	71,4	22,2
Привлекательная × Кама [Privlekatel'naya × Kama]	65,2±3,9	20,0–140,0	41,0	99,0	27,9	41,4	6,3
Привлекательная × Львовская ранняя [Privlekatel'naya × L'vovskaya rannaya]	55,5±2,8	20,0–80,0	34,7	99,0	–	–	–
Привлекательная [Privlekatel'naya] × 298-22-19-21	65,5±5,2	10,0–140,0	44,2	99,0	21,2	41,4	9,7

Таким образом, среди множества исследованных отборных сеянцев выделено значительное количество темноокрашенных, богатых антоцианами форм, которые представляют интерес для дальнейшей селекционной работы.

Заключение

Анализ литературных данных и собственные исследования авторов статьи показали, что доля генотипов с повышенным содержанием в плодах антоцианов в общем количестве возделываемых сортов незначительна, что указывает на необходимость ведения селекционной работы в данном направлении. В результате многолетней работы по изучению антоцианов в плодах земляники выделены сорта и отборные формы – ценные источники высокого их содержания: Фейерверк, Рубиновый кулон, Зенга Зенгана, Привлекательная, Лакомая, Памяти Зубова, Флора, Торпеда, 914-30, 914-33, 924-67, 924-56, 921-24, 915-32, 915-36, 5/1-10, 1/6-2, элиты 298-22-19-21, 613-30, 750-30 и др. Наиболее перспективным путем получения ценных генотипов по данному показателю является вовлечение в гибридизацию доноров высокого содержания антоцианов – сортов Рубиновый кулон, Привлекательная, Фейерверк.

Литература

1. Макаревич А.М., Шутова А.Г., Спиридович Е.В., Решетников В.Н. Функции и свойства антоцианов растительного сырья // Труды Белорусского государственного университета. Сер. Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. 2009. Т. 4, ч. 2. С. 147–157.
2. Колбас Н.Ю., Силва М.-А., Тэсседр П.-Л., Решетников В.Н. Антоцианы и антиоксидантная активность плодов некоторых представителей рода *Rubus* // Весці НАН Беларусі. Сер. біялагічных навук. 2012. № 1. С. 5–10.
3. Тараховский Ю.С., Ким Ю.А., Абдрашилов Б.С., Музафаров Е.Н. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина. Пущино : Synchrobook, 2013. 310 с.
4. Hou D.X. Potential mechanisms of cancer chemoprevention by anthocyanins // Current molecular medicine. 2003. Vol. 3, is. 2. PP. 149–159.
5. Заморська І.Л., Заморська В.В. Фенольні речовини в ягодах суниці // Збірник наукових праць Уманського НУС. Умань, 2013. Вип. 82, ч. 1: Агрономія. С. 18–23.
6. Zhao Y. Berry fruit: Value added products for health promotion. Boca Raton, FL: CRC Press Naylor and Francis Group. LLC., 2007. 430 p.
7. Bakker J., Bridle P., Bellsworthy S.J. Strawberry Juice Colour: a study of the quantitative and qualitative pigment composition of juices from 39 genotypes // Journal of the Science of Food and Agriculture. 1994. Vol. 64. PP. 31–37.
8. Lopes da Silva F., Escribano-Bailo M.T., Pe´rez Alonso J.J., Rivas-Gonzalo J.C., Celestino Santos-Buelga C. Anthocyanin pigments in strawberry // Food Science and Technology. 2007. Vol. 40. PP. 374–382. doi: 10.1016/j.lwt.2005.09.018
9. Упадышев М.Т. Роль фенольных соединений в процессах жизнедеятельности садовых растений. М. : Изд. Дом МСП, 2008. 320 с.
10. Kajdžanoska M., Gjamovski V., Stefova M. HPLC-DAD-ESI-MSn Identification of phenolic compounds in cultivated strawberries from Macedonia // Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering. 2010. Vol. 29, is. 2. PP. 181–194.

11. Aaby K., Mazur S., Nes A., Skrede G. Phenolic compounds in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) fruits: composition in 27 cultivars and changes during ripening // Food Chemistry. 2012. Vol. 132, is. 1. PP. 86–97. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.10.037
12. Зубов А.А. Теоретические основы селекции земляники. РАСХН. ГНУ ВНИИГиСПР им. И.В. Мичурина. Мичуринск : ВНИИГиСПР, 2004. 196 с.
13. Жбанова Е.В., Лукьянчук И.В., Богданова О.А. Биохимический состав ягод гибридных сеянцев и отборных форм земляники // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2009. № 4. С. 124–128.
14. Lundergan C.A., Moore J.N. Inheritance of ascorbic acid content and color intensity in fruits of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) // J. Amer. Soc. Hortic. Sci. 1975. Vol. 100, № 6. PP. 633–635.
15. Singh A., Singh B.K., Deka B.C., Sanwal S.K., Patel R.K., Verma M.R. The genetic variability, inheritance and inter-relationships of ascorbic acid, carotene, phenol and anthocyanin content in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) // Scientia Horticulturae. 2011. Vol. 129. PP. 86–90.
16. Гуляев Г.В., Мальченко В.В. Словарь терминов по генетике, цитологии, селекции, семеноводству и семеноведению. М. : Россельхозиздат, 1975. 215 с.
17. Программа и методика селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под общ. ред. Е.Н. Седова. Орел : Изд-во ВНИИСПК, 1995. 502 с.
18. Айтжанова С.Д. Селекция земляники в юго-западной части Нечерноземной зоны России : дис. ... д-ра с.-х. наук. Брянск, 2002. 398 с.
19. Зубов А.А., Станкевич К.В. Комбинационная способность ряда сортов земляники по признакам качеств ягод // Бюл. науч. инф. Центр. генет. лаб. 1985. Вып. 42. С. 31–36.
20. Жбанова Е.В. Комбинационная способность ряда сортов земляники по химическому составу ягод // Плодоводство : науч. тр. РУП «Ин-т плодоводства». 2013. Т. 25. С. 407–413.
21. Зубов А.А., Станкевич К.В. Шкала для определения антоцианов в землянике // Садоводство. 1979. № 10. С. 33.
22. Леонченко В.Г., Ханина Н.П. Динамика цианидинов в коре однолетних ветвей яблони в связи с морозостойкостью // Бюл. науч. информ. Центр. генет. лаб. 1985. Вып. 42. С. 15–19.
23. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.
24. Fredes C., Montenegro G., Zoffoli J.P., Santander F., Paz R. Comparison of the total phenolic content, total anthocyanin content and antioxidant activity of polyphenol-rich fruits grown in Chile // Cien. Inv. Agr. 2014. Vol. 41, is. 1. PP. 49–60.

*Поступила в редакцию 07.02.2017 г.; повторно 16.03.2017 г.;
принята 26.04.2017 г.; опубликована 15.06.2017 г.*

Авторский коллектив:

Лукьянчук Ирина Васильевна – канд. с.-х. наук, с.н.с. отдела частной генетики и селекции ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина», структурное подразделение «Селекционно-генетический центр – Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и селекции плодовых растений им. И.В. Мичурина» (Россия, 393770, г. Мичуринск, ул. ЦГЛ).

E-mail: irina.lk2011@yandex.ru

Жбанова Екатерина Викторовна – д-р с.-х. наук, в.н.с. лаборатории физиологии и биохимии ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина», структурное подразделение «Селекционно-генетический центр – Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и селекции плодовых растений им. И.В. Мичурина» (Россия, 393770, г. Мичуринск, ул. ЦГЛ).

E-mail: shbanovak@yandex.ru

Lukyanchuk IV, Zhdanova EV. Estimation of genetic collection for anthocyanin content in strawberry fruits. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2017;38:134–148. doi: 10.17223/19988591/38/8 In Russian, English summary

Irina V. Lukyanchuk, Ekaterina V. Zhbanova

Federal State Budgetary Scientific Institution "I.V. Michurin Federal Research Centre", affiliated "Breeding and genetics centre - I.V. Michurin All Russian Research Institute for Genetics and Breeding of Fruit Plants", Michurinsk, Tambov region, Russian Federation

Estimation of genetic collection for anthocyanin content in strawberry fruits

The isolation of valuable genotypes with high anthocyanin content in fruits is a promising and current direction of strawberry breeding in connection with the growing interest to their biological and pharmacological activity, and antioxidant properties. The aim of the present study was identification of anthocyanin content variability in strawberry fruits both depending on genetic origin of available forms, definition of range for their varying in varieties and hybrid seedlings, and also isolation of promising genotypes as important sources and donors for high anthocyanin accumulation. The present paper gives the results of long-term investigations for accumulation of anthocyanins in fruits of a great set of varieties, hybrid seedlings, advanced and selected seedlings of strawberry from genetic resources of Federal State Budgetary Scientific Institution "IV Michurin Federal Research Centre" and affiliated "Breeding and genetics centre - IV Michurin All Russian Research Institute for Genetics and Breeding of Fruit Plants" (Tambov region, Michurinsk) (See Fig. 2).

We determined the total content of anthocyanin pigments in laboratory with the use of spectrophotometric method (Leonchenko VG, Khanina NP, 1985). The comprehensive assessment of anthocyanin content in hybrid seedlings in open field required AA Zubov's and KV Stankevich's (1979) technique with the use of anthocyanin pigment scale. Transgressive variation was defined according to recommendations of AA Zubov (2004).

On the basis of various and numerous varietal resources of strawberry in the Central Chernozem Region we stated that anthocyanin content in strawberry fruits, as well as medium index per collection was 52.3 mg/100g of wet weight (it is proved by adequate breeding measures for development of forms with higher content of the given substances), and here the range of varying of anthocyanin content was within a wide range- 10.5-171.6 mg/100g. As studies have shown, the percentage of varieties with light-colored fruits (52.3%) is much higher than with dark-colored fruits (4.6%) (See Fig. 1). Variability of the given character is higher in hybrid seedlings and within 6.0 to 242.0 mg/100g (See Table 2). We singled out prospective genotypes with high accumulation of anthocyanins. The following varieties can be considered as important for breeding and practical consumption (See Table 1): Feyerverk - 107.4 mg/100g, Privlekatel'naya - 106.3 mg/100g, Rubinovy kulon - 103.1 mg/100g. Selected seedlings 3/2-3 (Feyerverk × L'vovskaya rannyaya) - 242.0 mg/100g, 3/3-16 (Feyerverk × Maryshka) - 176.0 mg/100g, 3/6-15 (Rubinovy kulon × Maryshka) - 165.0 mg/100g, 3/6-72 (Rubinovy kulon × Maryshka) - 178.2 mg/100g. We found out that in spite of all differences in hybrid progenies for anthocyanin content, the greatest number of seedlings with their high accumulation (from 80.0 to 100.0 mg/100g and more) was obtained in families where both parental forms have high anthocyanin content: Feyerverk, Privlekatel'naya, Rubinovy kulon). We recommend using the given varieties as sources and donors of high anthocyanin content in further breeding.

The article contains 2 Figures, 2 Tables, 24 References.

Key words: *Fragaria* × *ananassa* Duch.; breeding; varieties; hybrid seedlings; advanced form.

References

1. Makarevich AM, Shutova AG, Spiridovich EV, Reshetnikov VN. Funktsii i svoystva antotsianov rastitel'nogo syr'ya [Functions and properties of anthocyanins of plant raw materials]. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fiziologicheskie, biokhimicheskie i molekulyarnye osnovy funktsionirovaniya biosistem – Proceedings of the Belarusian State University. Series of Physiological, Biochemical and Molecular Biology Sciences*. 2009;4(2):147-157. In Russian
2. Kolbas NYu, Silva M.-A, Tessedr P-L, Reshetnikov VN. Antotsiany i antioksidantnaya aktivnost' plodov nekotorykh predstaviteley roda *Rubus* [Anthocyanins and antioxidant activity of fruits of some representatives of the genus *Rubus*]. *Izvestiya Natsional'noy Akademii Nauk Belarusi. Seriya biologicheskikh nauk – Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Sciences*. 2011;1:5-10. In Russian
3. Tarakhovskiy YuS, Kim YuA, Abdrasilov BS, Muzafarov EN. Flavonoidy: biokhimiya, biofizika, meditsina [Flavonoids: biochemistry, biophysics, medicine]. Pushchino: Sunchrobook Publ.; 2013. 310 p. In Russian
4. Hou DX. Potential mechanisms of cancer chemoprevention by anthocyanins. *Current Molecular Medicine*. 2003;3(2):149-159. doi: <https://doi.org/10.2174/1566524033361555>
5. Zamor'ska IL, Zamor'ska VV. Fenol'ni rechovini v yagodakh sunitsi [Phenolic compounds in strawberries]. *Zbirnik naukovikh prats' Uman'skogo NUS. Uman' [Proceedings of Uman National University of Horticulture]*. Uman. 2013;82(1):Agronomiya:18-23. In Ukrainian
6. Zhao Y. Berry fruit: Value added products for health promotion. Boca Raton: CRC Press Naylor and Francis Group. LLC., FL; 2007. 430 p.
7. Bakker J, Bridle P, Bellworthy SJ. Strawberry Juice Colour: A study of the quantitative and qualitative pigment composition of juices from 39 genotypes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1994;64:31-37.
8. Lopes da Silva F, Escribano-Bailo MT, Pe'rez Alonso JJ, Rivas-Gonzalo JC, Celestino Santos-Buelga C. Anthocyanin pigments in strawberry. *Food Science and Technology*. 2007;40:374-382. doi: [10.1016/j.lwt.2005.09.018](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.09.018)
9. Upadyshev M.T. Rol' fenol'nykh soedineniy v protsessakh zhiznedeyatel'nosti sadovykh rasteniy [The role of phenolic compounds in the processes of vital activity of garden plants]. Moscow: MSP Publ.; 2008. 320 p. In Russian
10. Kajdzanoska M, Gjamovski V, Stefova M. HPLC-DAD-ESI-MSn Identification of phenolic compounds in cultivated strawberries from Macedonia. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 2010;29(2):181-194. doi: [10.20450/mjce.2010.165](https://doi.org/10.20450/mjce.2010.165)
11. Aaby K, Mazur S, Nes A, Skrede G. 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](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.037)
12. Zubov AA. Teoreticheskie osnovy selektsii zemlyaniki [The theoretical basis of strawberry breeding]. Michurinsk: VNIIG&SPR; 2004. 196 p. In Russian
13. Zhdanova EV, Lukyanchuk IV, Bogdanova OA. Biokhimicheskiy sostav yagod gibridnykh seyantsev i otnornykh form zemlyaniki [Biochemical composition of berries both in hybrid seedlings and choice strawberry varieties]. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii – Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2009;4:124-128. In Russian
14. Lundergan CA, Moore JN. Inheritance of ascorbic acid content and color intensity in fruits of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 1975;100(6):633-635.
15. Singh A, Singh BK, Deka BC, Sanwal SK, Patel RK, Verma MR. The genetic variability, inheritance and inter-relationships of ascorbic acid, carotene, phenol and anthocyanin content in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae*. 2011;129:86-90.

16. Gulyaev GV, Mal'chenko VV. Slovar' terminov po genetike, tsitologii, selektsii, semenovodstvu i semenovedeniyu [Dictionary of terms in genetics, cytology, selection, seed breeding and seed farming]. Moscow: Rossel'khozizdat Publ.; 1975. 215 p. In Russian
17. *Programma i metodika selektsii plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur* [Program and methods of fruit, berry and nut crop breeding]. Sedov EN, editor. Orel: VNIISPK Publ.; 1995. 502 p. In Russian
18. Aytzhanova SD. *Selektsiya zemlyaniki v yugo-zapadnoy chasti Nechernozemnoy zony Rossii* [Strawberry breeding in the southwestern part of the non-chernozem zone of Russia. Dr.Sci. Dissertation, Agriculture]. Bryansk: Bryansk State Agricultural Academy; 398 p. In Russian
19. Zubov AA, Stankevich KV. Kombinatsionnaya sposobnost' ryada sortov zemlyaniki po priznakam kachestv yagod [Combination ability of a number of strawberry varieties according to the qualities of berries]. *Byul. nauch. inform. Tsentr. genet. lab.*;1985;42:31-36. In Russian
20. Zhbanova EV. Kombinatsionnaya sposobnost' ryada sortov zemlyaniki po khimicheskomu sostavu yagod [Combination ability of some strawberry varieties according to chemical composition of their berries]. *Plodovodstvo*. 2013;25:407-413. In Russian
21. Zubov AA, Stankevich KV. Shkala dlya opredeleniya antotsianov v zemlyanike [The scale for determining anthocyanins in strawberries]. *Sadovodstvo*. 1979;10:33. In Russian
22. Leonchenko VG, Khanina NP. Dinamika tsianidinov v kore odnoletnikh vetvey yabloni v svyazi s morozostoykost'yu [Dynamics of cyanidins in the cortex of annual apple tree branches due to frost resistance]. *Byul. nauch. inform. Tsentr. genet. lab.*;1985;42:15-19. In Russian
23. Dospekhov BA. Metodika polevogo opyta [Method of field experience]. Moscow: Agropromizdat Publishing House; 1985. 351 p. In Russian
24. Fredes C, Montenegro G, Zoffoli JP, Santander F, Paz R. Comparison of the total phenolic content, total anthocyanin content and antioxidant activity of polyphenol-rich fruits grown in Chile. *Cien. Inv. Agr.*;2014;41(1):49-60.

Received 07 February Revised 16 March 2017;

Accepted 26 April 2017; Published 15 June 2017

Author info:

Lukyanchuk Irina V, Cand. Sci. (Agric.), Senior Researcher, Laboratory of Individual Plant Genetics and Breeding, Federal State Budgetary Scientific Institution "IV Michurin Federal Research Centre", CGL-10 Str., Michurinsk 393773, Tambov Region, Russian Federation.

E-mail: irina.lk2011@yandex.ru

Zhbanova Ekaterina V, Dr. Sci. (Agric.), Leading Researcher, Laboratory of Physiology and Biochemistry, Federal State Budgetary Scientific Institution "IV Michurin Federal Research Centre", CGL-10 Str., Michurinsk 393773, Tambov Region, Russian Federation.

E-mail: shbanovak@yandex.ru