

ВИТАМИННАЯ И АНТИОКСИДАНТНАЯ ЦЕННОСТЬ ПЛОДОВ СОРТОВ И ОТБОРНЫХ ФОРМ ЗЕМЛЯНИКИ СЕЛЕКЦИИ ФГБНУ «ФНЦ ИМ. И.В. МИЧУРИНА»

Е.В. ЖБАНОВА¹, И.В. ЛУКЪЯНЧУК¹, А.М. МИРОНОВ²

¹ ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина»,
² МКУ «Дирекция по реализации Программы развития города Мичуринска
как наукограда Российской Федерации»)

В работе отражены результаты многолетних исследований содержания витамина С, Р-активных соединений, суммарной антиоксидантной активности плодов земляники генетической коллекции, собранной и созданной в лаборатории частной генетики и селекции ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина» (г. Мичуринск, Тамбовской области). Цель исследования состояла в оценке генетической коллекции земляники по витаминной и антиоксидантной ценности плодов и выделении перспективных генотипов – источников высокого их накопления. Объектами исследований являлись плоды сортов земляники селекции «ФНЦ им. И.В. Мичурина», зарубежной селекции, отборных и элитных форм, полученных на основе внутривидовых и межвидовых скрещиваний. Биохимические анализы плодов проводились согласно стандартным методикам. В группе сортов селекции ФНЦ им. И.В. Мичурина повышенным накоплением аскорбиновой кислоты (более 70,0 мг/100 г) характеризовались сорта Памяти Зубова, Привлекательная; среди зарубежных сортов – Arosa, Vima Tarda, Dukat. Высокое содержание антоцианов (выше 80,0 мг/100 г) отмечено у сортов селекции ФНЦ им. И.В. Мичурина: Лакомая, Привлекательная, Фейерверк, Флора. Среди зарубежных сортов повышенным их накоплением (выше 60,0 мг/100 г) отличаются Ката, Vima Tarda. Суммарная антиоксидантная активность исследованных сортов и отборных форм изменялась в пределах 32,0–78,6 мг/100 г (пересчет на галловую кислоту). Корреляционная зависимость (r) между накоплением в плодах антоцианов и их суммарной антиоксидантной активностью составила +0,56. Прослеживается тенденция, что сорта и формы, показавшие высокое накопление антоцианов, характеризуются и высокой антиоксидантной активностью плодов. Наибольшей антиоксидантной активностью отличаются сорта и отборные формы: Привлекательная, Фейерверк, Памяти Зубова, 35–16, 35–5, 34–12, 914–9. Высоким уровнем накопления аскорбиновой кислоты (выше 80,0 мг/100 г) характеризуются отборные формы: 56–5, 57–7, 56–9, 56–17, 30–1, 19–6, 21–14. Ряд отборных форм, полученных с участием таких богатых антоцианами сортов, как Привлекательная, Фейерверк, Рубиновый кулон, накапливали антоцианы в значительных количествах – выше 100,0 мг /100 г. Выделенные сорта и формы представляют значительный интерес для дальнейшей селекционной работы по улучшению биохимического состава плодов.

Ключевые слова: земляника, *Fragaria × ananassa Duch.*, сорта, витамины, аскорбиновая кислота, антоцианы, антиоксидантная активность.

Введение

Проблема сохранения здоровья, увеличения продолжительности человеческой жизни одна из самых важных и актуальных. Одним из путей ее решения служит полноценное и регулярное снабжение организма всеми необходимыми нутриентами. Многими эпидемиологическими исследованиями показано, что диета, богатая фруктами и овощами, снижает частоту некоторых хронических патологий, в частности

таких, как ожирение, инфекции, сердечно-сосудистые и неврологические заболевания, а также рак [11, 31]. Земляника садовая (*F. × ananassa* Duch.) – одна из ценнейших и популярных ягодных культур, широко культивируемых во всем мире. Плоды земляники отличаются высоким содержанием питательных веществ и фитохимических соединений, оказывающих положительное влияние на здоровье человека [8, 16, 19–20, 25, 32].

Большой интерес к землянике обусловлен высоким содержанием аскорбиновой кислоты, что делает ее важным источником этого витамина в питании человека. Аскорбиновая кислота обладает антиоксидантными свойствами, способностью препятствовать развитию процессов свободнорадикального окисления, приводящих к негативным последствиям. Витамин С (формы и метаболиты аскорбиновой кислоты) участвует в окислительно-восстановительных реакциях, функционировании иммунной системы, способствует усвоению железа и нормальному кроветворению. Дефицит витамина С приводит к рыхлости и кровоточивости десен, носовым кровотечениям вследствие повышенной проницаемости и ломкости кровеносных капилляров [3, 5, 10–11, 15]. Установленный уровень физиологической потребности в витамине С в разных странах составляет 45,0–110,0 мг/сутки [3]. В плодах земляники аскорбиновой кислоты содержится в пределах 11,4–118,2 мг/100 г, чаще всего содержание витамина С изменяется от 40,0 до 80,0 мг/100 г. Таким образом, для удовлетворения суточной потребности организма человека в витамине С достаточно всего 100–150 г свежих плодов земляники [2].

Кроме того, земляника является источником ряда других витаминов: каротина (провитамина А) – 40 мкг/100 г, К₁–20 мкг/100 г, тиамина (В₁) – 0,024 мг/100 г, рибофлавина (В₂) – 0,022 мг/100 г, пиридоксина (В₆) – 0,047 мг/100 г, фолиевой кислоты (В₉) – 0,24 мкг/100 г, ниацина – 0,386 мг/100 г, биотина – 1,1 мкг/100 г, пантотеновой кислоты – 0,125 мкг/100 г. Витамин Е в ее плодах обнаружено 0,54–0,78 мг/100 г, что превосходит по данному показателю апельсины, смородину, вишню [8, 12, 19, 25].

В наибольшей мере фитохимические соединения в землянике представлены фенольными соединениями. Основным классом фенольных соединений являются флавоноиды, в большей степени антоцианы. Менее значительный вклад обеспечивают флаванолы и флавонолы, затем следуют гидролизуемые танины (эллаготанины и галлотанины) и фенольные кислоты (гидроксибензойные кислоты и гидроксикоричные кислоты), наиболее мелкие составляющие – конденсированные танины (проантоцианидины) [9, 13–14, 20, 21–22, 28–30].

Антоцианы – наиболее известные и важные полифенольные соединения в землянике. Они показывают значительную ценность, напрямую связанную с целым рядом преимуществ для здоровья человека, включая антиоксидантный потенциал, противораковую активность, противовоспалительные и антиангиогенные свойства. Их состав и количество во многом определяют пригодность сортов к замораживанию и технологической переработке. Количественное содержание компонентов антоцианового профиля определяется генотипом земляники [32]. Многими исследователями установлено суммарное содержание антоцианов в плодах земляники в пределах 15,0–60,0 мг/100 г, однако их накопление может достигать 80,0 мг/100 г [17–18, 26–27]. Комитетом экспертов ВОЗ по пищевым добавкам (JECFA) рассчитана допустимая суточная норма потребления антоцианов (ADI) для человека в количестве 2,5 мг/кг массы тела [24]. Согласно рекомендациям российских ученых, необходимый уровень потребления антоцианов должен составлять 50,0–150,0 мг в сутки [6]. Всего 100 г плодов земляники темноокрашенных сортов обеспечивают необходимую суточную норму потребления антоцианов.

В землянике идентифицировано более 25 различных антоциановых пигментов, однако, в наибольшем количестве накапливается пеларгонидин-3-глюкозид, вне зависимости от генетических факторов и факторов окружающей среды. 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 [27].

В группе плодовых и ягодных культур земляника обладает большей антиоксидантной способностью, чем яблоки, персики, груши, виноград, апельсины, киви [16, 19–20]. Важно не только определение суммарной антиоксидантной способности, но и выявление индивидуального вклада различных фитохимических соединений [23]. В исследованиях S. Tulipani с соавторами (2008) было установлено, что одним из наиболее важных компонентов, вклад которого в общую антиоксидантную активность земляники составляет более чем 30%, является аскорбиновая кислота, антоцианы вносят от 25 до 40%, остальную часть составляют производные эллаговой кислоты и флавонолов [33]. Эти результаты показывают, что суммарная антиоксидантная активность плодов земляники является показателем общего содержания витамина С и общего содержания фенольных веществ и, следовательно, антоцианов и эллаготанинов.

При возрастающих требованиях, предъявляемых к новым сортам с точки зрения пищевой и биологической ценности плодов, необходима комплексная оценка сортового фонда земляники по биохимическому составу, в особенности по накоплению витаминов С и Р, антиоксидантной ценности плодов.

Цель настоящего исследования состояла в оценке генетической коллекции земляники по содержанию аскорбиновой кислоты, полифенольных соединений, суммарной антиоксидантной активности плодов и выделении перспективных генотипов – ценных источников высокого их накопления.

Методика исследования

В работе обобщены результаты многолетних исследований (2013–2017 гг.) по накоплению витамина С, Р-активных соединений, суммарного содержания антиоксидантов (ССА) в плодах земляники генетической коллекции, собранной и созданной в лаборатории частной генетики и селекции ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина» (г. Мичуринск, Тамбовской области). Объектами исследований являлись сорта селекции ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина» (9 сортов), сорта зарубежной селекции (19 сортов), отборные (42) и элитные (2) формы, полученные на основе внутривидовых и межвидовых скрещиваний.

Биохимические анализы плодов проводились согласно стандартным методикам: содержание аскорбиновой кислоты (АК) – йодометрическим методом (титрованием 0,001 N раствором йодата калия в присутствии крахмала и йодистого калия), катехинов – фотоколориметрическим методом по окраске спиртовой вытяжки с ванилиновым реактивом (1% раствор кристаллического ванилина в конц. HCl) (по Мурри), антоцианов – методом рН-дифференциальной спектрофотометрии, суммарное содержание антиоксидантов (ССА) – на жидкостном хроматографе «Цвет-Яуза 01-АА», пересчет на галловую кислоту [1, 4, 7].

Статистическая обработка данных (вычисление среднего арифметического (\bar{x}), стандартной ошибки среднего арифметического ($S_{\bar{x}}$), коэффициента корреляции (r)) проводилась с использованием программ Microsoft Excel 7,0 и StatSoft STATISTICA 6.0.

Результаты и их обсуждение

Проведенные исследования химического состава показали варьирование содержания витамина С в плодах сортов и элитных форм земляники селекции ФНЦ им. И.В. Мичурина в пределах 54,4–85,4 мг/100 г (среднее – 66,2 мг/100 г); перспективных зарубежных сортов – 46,2–76,6 мг/100 г (среднее – 64,6 мг/100 г) (табл. 1, 2).

Таблица 1

Содержание аскорбиновой кислоты и фенольных соединений в плодах перспективных сортов и отборных форм земляники селекции ФНЦ им. И.В. Мичурина (2013–2017 гг.)

Сорт	Происхождение ♀ × ♂	АК, мг/100 г	Антоцианы, мг/100 г	Катехины, мг/100 г
Лакомая	Senga Sengana × Redcoat	59,3	84,6	235
Ласточка	922–67 × × Привлекательная	61,2	54,2	336
Памяти Зубова	{[Фейерверк × (Belrubi × × <i>F. ovalis</i> Rydb.)] × × Holiday}	75,3	66,7	295
Праздничная	Senga Sengana × Redcoat	68,7	37,8	162
Привлекательная	Рубиновый кулон × × Albritton	74,7	106,3	152
Урожайная ЦГЛ	Senga Sengana × Redcoat	66,0	43,7	206
Фейерверк	Senga Sengana × Redcoat	54,4	108,5	268
Флора	Senga Sengana × Redcoat	60,3	85,8	206
Яркая	Senga Sengana × Redcoat	63,2	41,7	192
элита 35–5	922–67 × Maryshka	68,9	62,8	185
элита 56–5	Gigantella Maxim × Привлекательная	85,4	52,3	220
отборная форма 35–16	922–67 × Maryshka	72,0	107,1	253
отборная форма 34–12	922–67 × × Привлекательная	61,5	67,0	326
отборная форма 914–9	Фестивальная × × Привлекательная	56,5	82,0	176
Среднее $\bar{x} \pm S_{(x)}$		66,2±2,3	71,5±6,6	229±15,7
Интервалы варьирования min. – max.		54,4–85,4	37,8–108,5	152–336

Таблица 2

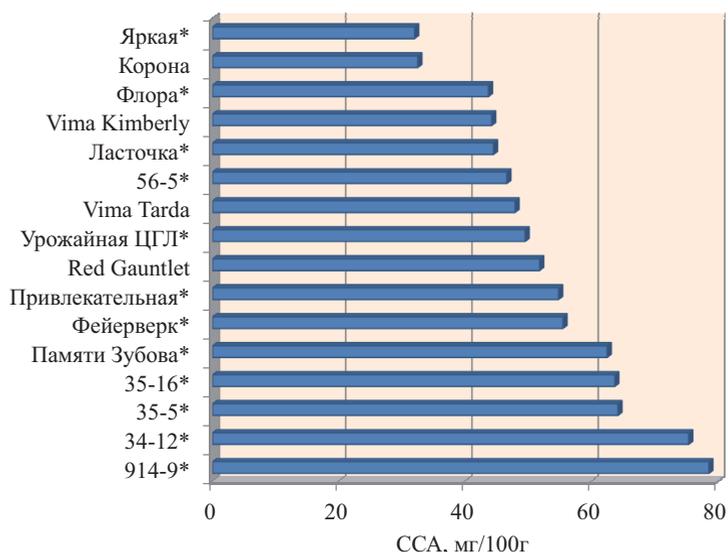
**Содержание аскорбиновой кислоты и фенольных соединений
в плодах сортов земляники зарубежной селекции (2013–2017 гг.)**

Сорт	Происхождение	АК, мг/100 г	Антоцианы, мг/100 г	Катехины, мг/100 г
Ароза (<i>Arosa</i>)	CIV (Консорциум итальянских питомников), Италия	73,5	24,2	212
Баунти (<i>Baunti</i>)	Канада	64,2	30,8	212
Вима Занта (<i>Vima Zanta</i>)	Elsanta × Korona, Голландия	59,9	34,3	225
Вима Кимберли (<i>Vima Kimberly</i>)	Gorella × Chandler, Голландия	69,1	41,8	140
Вима Рина (<i>Vima Rina</i>)	Vima Zanta × Vicoda, Голландия	63,2	27,0	196
Вима Тарда (<i>Vima Tarda</i>)	Vima Zanta × Vicoda, Голландия	73,1	64,0	285
Дукат (<i>Dukat</i>)	Коралловая 100 × Gorella, Польша	76,6	57,2	192
Зефир (<i>Zefir</i>)	Дания	67,9	48,4	241
Кама (<i>Kama</i>)	Польша	54,2	66,0	260
Камароза (<i>Camarosa</i>)	США (Калифорния)	56,0	36,3	219
Корона (<i>Korona</i>)	Induka × Tamella, Голландия	65,8	49,0	287
Клэри (<i>Clery</i>)	Компания «Маццони Групп», Италия	59,8	26,4	112
Мармолада (<i>Marmolada Onebor</i>)	Gorella × Holiday, CIV (Консорциум итальянских питомников), Италия	46,2	19,8	142
Марышка (<i>Maryshka</i>)	Чехия	61,8	46,1	161
Ред Гонтлет (<i>Red Gauntlet</i>)	Великобритания (Шотландия)	70,6	34,7	275
Сельва (<i>Selva</i>)	[Brighton × (Tufts × Pajaro)], США	68,4	33,0	274
Фестивальная ромашка	Заря × Redglow, Украина	54,4	46,2	160
Хоней (<i>Honeoye</i>)	Vibrant × Holiday, США	66,4	35,2	207
Эльсанта (<i>Elsanta</i>)	Gorella × Holiday, Голландия	76,6	31,2	188
Среднее $\bar{x} \pm S_{(x)}$		64,6±1,88	39,6±3,0	210±11,9
Интервалы варьирования min. – max		46,2–76,6	19,8–66,0	112–287

Таким образом, по уровню накопления аскорбиновой кислоты между сравниваемыми группами сортов заметных различий не отмечено. В группе сортов селекции ФНЦ им. И.В. Мичурина повышенным накоплением аскорбиновой кислоты (более 70,0 мг/100 г) характеризуются: Памяти Зубова, Привлекательная, отборные формы 56–5, 35–16; среди зарубежных сортов – Arosa, Vima Tarda, Dukat.

Содержание антоцианов в группе сортов земляники селекции ФНЦ им. И.В. Мичурина изменялось в пределах 37,8–108,5 мг/100 г (среднее – 71,5 мг/100 г); в группе зарубежных сортов – в пределах 19,8–66,0 мг/100 г (среднее 39,6 мг/100 г). В сравнении с богатыми антоцианами сортами и отборными формами селекции ФНЦ им. И.В. Мичурина, некоторые сорта зарубежной селекции имели заметно (в 2–3 раза) более низкое содержание антоцианов. Наиболее высоким содержанием антоцианов характеризуются сорта селекции ФНЦ им. И.В. Мичурина Лакомая, Привлекательная, Фейерверк, Флора, отборные формы 35–16, 914–9 (82,0–108,5 мг/100 г). Среди зарубежных сортов повышенным их накоплением (более 60,0 мг/100 г) отличаются Кама, Vima Tarda. Содержание катехинов в плодах земляники сортов селекции ФНЦ им. И.В. Мичурина находилось в пределах 152–336 мг/100 г (среднее 229 мг/100 г); в плодах зарубежных сортов несколько ниже – 112–287 мг/100 г (среднее 210 мг/100 г). По данному признаку выделены сорта селекции ФНЦ им. И.В. Мичурина: Ласточка, Памяти Зубова, Фейерверк, Кама, Корона, отборная форма 34–12, зарубежные сорта: Кама, Korona, Red Gauntlet, Selva, Vima Tarda.

Суммарная антиоксидантная активность ряда исследованных сортов и отборных форм изменялась в пределах 32,0–78,6 мг/100 г (в пересчете на галловую кислоту) (рисунок).



* – сорта и отборные формы селекции ФНЦ им. И.В. Мичурина

Рис. Суммарное содержание антиоксидантов в плодах перспективных сортов и отборных форм земляники

Корреляционная зависимость (r) между накоплением в плодах антоцианов и их суммарной антиоксидантной активностью составила +0,56. Прослеживается тенденция, что сорта и формы, показавшие высокое накопление антоцианов, характеризуются и высокой антиоксидантной активностью плодов. Наибольшей антиоксидантной активностью отличаются сорта и отборные формы селекции ФНЦ

им. И.В. Мичурина: Привлекательная, Фейерверк, Памяти Зубова, элита 35–16, отборные формы 35–5, 34–12, 914–9.

У изученных отборных форм минимальный уровень накопления витамина С составил 45,3 мг/100 г, максимальный – 133,3 мг/100 г (табл. 3).

Таблица 3

Изменчивость по годам накопления аскорбиновой кислоты и антоцианов в плодах отборных форм земляники

Год	Число изученных отборных форм, шт.	Аскорбиновая кислота, мг/100 г				Антоцианы, мг/100 г			
		среднее (x)	стандартная ошибка $S_{(x)}$	интервалы варьирования min. – max	разность (Δ)	среднее (x)	стандартная ошибка $S_{(x)}$	интервалы варьирования min. – max	разность (Δ)
2013	35	80,1	2,8	53,2–111,8	58,6	96,0	5,4	24,2–176,0	151,6
2014	26	88,8	3,8	47,5–133,3	85,8	68,0	7,1	24,2–163,7	139,5
2015	32	81,2	2,3	57,2–106,0	48,8	75,4	7,1	15,4–165,0	149,6
2016	42	67,9	1,8	50,2–103,0	52,8	72,4	4,9	10,3–129,5	119,2
2017	39	72,2	1,9	45,3–103,0	57,7	84,7	3,6	12,8–110,5	97,7

Более высокое накопление витамина С отмечено в условиях 2014 года, когда среднее значение показателя достигало 88,8 мг/100 г. Высоким уровнем накопления аскорбиновой кислоты (выше 80,0 мг/100 г) характеризуются отборные формы: 57–7, 56–9, 56–17 (Gigantella Maxim × Привлекательная), 30–1 (Фейерверк × Привлекательная), 19–6 (Праздничная × Русановка), 21–14 (Урожайная ЦГЛ × Рубиновый кулон).

За период исследований (2013–2017 гг.) минимальное накопление антоцианов (10,3 мг/100 г) отмечено у отборной формы 20–8 (Праздничная × Деданка), максимальное (176,0 мг/100 г) – у отборной формы 3/3–1 (Рубиновый кулон × Maryshka). Отборный сеянец 5/1–10 (922–67 × Maryshka) 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 × Maryshka) также характеризуется высоким накоплением антоцианов (112,2 мг/100 г).

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

Заключение

В результате многолетних исследований витаминной и антиоксидантной ценности плодов земляники выделены сорта и отборные формы – ценные источники высокого содержания: *аскорбиновой кислоты* – Памяти Зубова, Привлекательная, Arosa, Vima Tarda, Dukat, Elsanta, 56–5, 57–7, 56–9, 56–17, 30–1, 19–6, 21–14; *антоцианов* – Фейерверк, Привлекательная, Лакомая, Памяти Зубова, Флора, Ката, 35–16, 914–9, 914–9, 914–30, 914–33, 914–67, 924–56, 921–24, 915–32, 915–36;

катехинов – Ласточка, Памяти Зубова, Фейерверк, 34–12, Кама, Korona, Red Gauntlet, Red Selva, Vima Tarda; *высокой суммарной антиоксидантной активности* – Привлекательная, Фейерверк, Памяти Зубова, 35–16, 35–5, 34–12, 914–9. Показано, что сорта селекции ФНЦ им. И.В. Мичурина по витаминной и антиоксидантной ценности плодов не уступают, а некоторые и превосходят современные зарубежные сорта. Сорта Привлекательная, Памяти Зубова характеризуются комплексным высоким накоплением аскорбиновой кислоты, антоцианов, высокой суммарной антиоксидантной активностью плодов.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 54037–2010 Продукты пищевые. Определение содержания водорастворимых антиоксидантов амперометрическим методом в овощах, фруктах, продуктах их переработки, алкогольных и безалкогольных напитках. М.: Стандартинформ, 2011. 12 с.
2. Лукьянчук И.В., Жбанова Е.В. Биологически активный комплекс плодов земляники // Плодоводство: Сб. науч. тр. РУП «Ин-т плодоводства». Минск. Изд. дом Беларуская навука. 2017. Т. 29. С. 15–159.
3. Методические рекомендации МР 2.3.1.2432–08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». 41 с.
4. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, Н.П. Ярош и др.; под ред. А.И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. 430 с.
5. Пастушкова Е.В., Заворохина Н.В., Вяткин А.В. Растительное сырье как источник функционально-пищевых ингредиентов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2016. Т. 4. № 4. С. 105–113.
6. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ: Методические рекомендации. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 28 с.
7. Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 240 с.
8. Скурихин И.М., Тутельян В.А. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания // Справочник. М.: ДеЛи принт, 2007. 276 с.
9. Упадышев М.Т. Роль фенольных соединений в процессах жизнедеятельности садовых растений. М.: Изд. Дом МСП, 2008. 320 с.
10. Чупахина Г.Н., Масленников П.В., Скрыпник Л.Н., Чупахина Н.Ю., Федурев П.В. Антиоксидантные свойства культурных растений Калининградской области: монография. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. 145 с.
11. Шарова Е.И. Антиоксиданты растений: учеб. пособие. СПб.: Изд-во С. – Петерб. ун-та, 2016. 140 с.
12. Ширко Т.С., Ярошевич И.В. Биохимия и качество плодов. Мн.: Наука і тэхніка, 1991. 294 с.
13. Aaby K., Skrede G., Wrolstad R.E. Phenolic composition and antioxidant activities in flesh and achenes of strawberries (*Fragaria × ananassa*) // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2005. Vol. 53. P. 4032–4040.
14. Aaby K., Ekeberg D., Skrede G. Characterization of phenolic compounds in strawberry (*Fragaria x ananassa*) fruits by different HPLC detectors and contribution of individual compounds to total antioxidant capacity // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007. Vol. 55. P. 4395–4406.

15. Bastias J.M., Cepero Y. Vitamin C as an effective micronutrient in the food fortification // *Revista chilena de nutricion*. 2016. Vol. 43. Issue 1. P. 81–86.
16. Basu A., Nguyen A., Betts N.M. Lyons, T.J. Strawberry as a Functional Food: An Evidence-Based Review // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2014. Vol. 54. Issue 6. P. 790–806.
17. Clifford M.N. Anthocyanins – nature, occurrence and dietary burden // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2000a. Vol. 80. P. 1063–1072.
18. Garcia-Viguera C., Zafrilla P., Tomas-Barberan F.T. The use of acetone as an extraction solvent for anthocyanins from strawberry // *Phytochemical analysis*. 1998. Vol. 9. P. 274–277.
19. Giampieri F., Tulipani S., Alvarez-Suarez J.M., Quiles J.L., Mezzetti B., Battino M. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health // *Nutrition*. 2012. Vol. 28. Issue 1. P. 9–19.
20. Giampieri F., Forbes-Hernandez T.Y., Gasparri M., Afrin S., Cianciosi D., Reboledo-Rodriguez P., Varela-Lopez A., Quiles J.L., Mezzetti B., Battino M. The healthy effects of strawberry bioactive compounds on molecular pathways related to chronic diseases // *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2017. Vol. 1398. Issue 1. P. 62–71.
21. Häkkinen S.H., Törrönen A. Content of flavonols and selected phenolic acids in strawberries and *Vaccinium* species: Influence of cultivars, cultivation site and technique // *Food Research International*. 2000. Vol. 33. P. 517–524.
22. Kähkönen M.P., Hopia A.I., Heinonen M. Berry phenolics and their antioxidant activity // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001. Vol. 49. P. 4076–4082.
23. Kim Y. – J., Shin Y. Antioxidant profile, antioxidant activity, and physicochemical characteristics of strawberries from different cultivars and harvest locations // *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*. 2015. Vol. 58. Issue 4. P. 587–595.
24. Kylli P. Berry phenolics: isolation, analysis, identification, and antioxidant properties // Academic dissertation, University of Helsinki Department of Food and Environmental Sciences Food Chemistry. Helsinki, 2011. 90 p.
25. Lim T.K. *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants* Vol. 4. Fruits. Publisher: Springer. 2012. 1038 p.
26. Lopes-da-Silva F., de Pascual-Teresa S., Rivas-Gonzalo J., Santos-Buelga C. Identification of anthocyanin pigments in strawberry (cv. Camarosa) by LC using DAD and ESI–MS detection // *European food research and technology*. 2002. Vol. 214. P. 248–253.
27. Lopes da Silva F., Escribano-Bailón T.M., Alonso J.P.J., Rivas-Gonzalo C.J., Santos-Buelga C. Anthocyanin pigments in strawberry // *Food Science and Technology*. 2007. Vol. 40. Issue 2. P. 374–382.
28. Määttä-Riihinen K.R., Kamal-Eldin A., Törrönen A.R. Identification and quantification of phenolic compounds in berries of *Fragaria* and *Rubus* species (family *Rosaceae*) // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004. Vol. 52. P. 6178–6187.
29. Mattila P., Hellstrom J., Törrönen R. Phenolic acids in berries, fruits, and beverages // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006. Vol. 54. P. 7193–7199.
30. Olas B. Berry Phenolic Antioxidants – Implications for Human Health? // *Frontiers in pharmacology*. Vol. 9. 2018.
31. Szajdek A., Borowska E.J. Bioactive compounds and health-promoting properties of berry fruits: a review // *Plant Foods for Human Nutrition*. 2008. Vol. 63. P. 147–156.
32. Tokus, og̃lu Ö., Hall III C. *Fruit and Cereal Bioactives: Sources, Chemistry, and Applications*. CRC Press, 2013. 473 p.
33. Tulipani S., Mezzetti B., Capocasa F., Bompadre S., Beekwilder J., Ric de Vos C.H., Capanoglu E., Arnaud Bovy A., Battino M. Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 56. P. 696–70.

VITAMIN AND ANTIOXIDANT VALUE OF FRUITS OF STRAWBERRY VARIETIES AND SELECTED FORMS BRED IN I.V. MICHURIN FEDERAL SCIENTIFIC CENTER

YE.V. ZHBANOVA, I.V. LUK'YANCHUK, A.M. MIRONOV

(¹I.V. Michurin Federal Scientific Center,

²Directorate for the Implementation of the Development Program of Michurinsk
as a Science Town of the Russian Federation)

The paper reflects the results of long-term studies on the contents of vitamin C, P-active compounds and total antioxidant activity of strawberry fruit from gene pool created and developed in the Laboratory of Specific Genetics and Selection of I.V. Michurin Federal Scientific Center (FSC)" (Michurinsk, Tambov region).

The purpose of the present study was to estimate genetic collection of strawberry for vitaminous and antioxidant importance of fruit and isolation of promising genotypes – the sources of high accumulation of the foregoing substances. The study focused on strawberry fruits bred in "I.V. Michurin FSC", those of foreign breeding, and those from selected and elite forms obtained by intraspecific and interspecific crossing. Biochemical analyses of fruits were carried out according to standard methodical requirements.

Among the group of breeding of "I.V. Michurin FSC", there were varieties with higher accumulation of ascorbic acid (more than 70.0 mg/100 g) – Pamyati Zubova, Privlekatelnaya. The foreign varieties were represented by Aroza, Vima Tarda and Dukat. The higher anthocyanin content (more than 80.0 mg/100 g) was detected in "I.V. Michurin FSC" varieties: Lakomaya, Privlekatelnaya, Feyerverk, and Flora. As for foreign varieties, the higher anthocyanin (more than 60.0 mg/100 g) was observed in Kama, Vima Tarda. Total antioxidant activity of the studied varieties and selected forms varied within 32.0–78.6 mg/100g (recalculated per gallic acid). Correlation dependence (r) between accumulation anthocyanins in fruits and total antioxidant activity was +0.56. According to the revealed tendency, the varieties and forms that have shown high accumulation of anthocyanins are characterized by high antioxidant activity of fruits. The highest antioxidant activity was recorded in the following varieties and forms: Privlekatelnaya, Feyerverk, Pamyati Zubova, 35–16, 35–5, 34–12, 914–9. High-level accumulation of ascorbic acid (more than 80.0 mg/100 g) was registered in selected forms 56–5, 57–7, 56–9, 56–17, 30–1, 19–6, 21–14. Some selected forms were obtained from such anthocyanin-rich varieties as Privlekatelnaya, Feyerverk, and Rubinoviy Kulon. These varieties have shown extremely high anthocyanin accumulation – more than 100.0 mg/100 g. The isolated varieties and forms are of great interest for further breeding work aimed at obtaining improved biochemical composition of fruits.

Key words: strawberries, *Fragaria* × *ananassa* Duch., varieties, vitamins, ascorbic acid, anthocyanins, antioxidant activity.

References

1. GOST R54037–2010 Produkty pishcheviye. Opredeleniye sodержaniya vodorastvorimykh antioksidantov amperometriceskim metodom v ovoshchah, fruktah, produktakh ikh pererabotki, alkohol'nykh i bezalkogol'nykh napitkakh [Food products. Determination of the content of water-soluble antioxidants by amperometric method in vegetables, fruits, products of their processing, alcoholic and nonalcoholic beverages]. M.: Standartinform, 2011: 12. (In Russian)
2. Lukyanchuk I.V., Zhbanova E.V. Biologicheski aktivniy kompleks plodov zemlyaniki [Biologically-active complex of strawberry fruit] // Plodovodstvo: Sb. nauch. tr. / RUP "In-t plodovodstva". Minsk, Izd. dom Belaruskaya navuka, 2017; 29: 150–159. (In Russian)

3. Metodicheskiye rekomendatsii MP 2.3.1.2432–08 “Normy fiziologicheskikh potrebnostey v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiyskoy Federatsii” [Rates of physiological requirements in energy and nutrients for different groups of population in Russian Federation]. 2008: 41. (In Russian)

4. Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy [Methods of biochemical research of plants] / A.I. Ermakov, V.V. Arasimovich, N.P. Yarosh i dr. / Pod red. A.I. Ermakova. 3rd ed., reviewed and extended. L.: Agropromizdat. Leningr. otd-nie, 1987: 430. (In Russian)

5. *Pastushkova E.V., Zavorokhina N.V., Vyatkin A.V.* Rastitel'noye syr'e kak istochnik funktsional'no-pishchevykh ingredientov [Plant raw materials as a source of functional food ingredients] // Vestnik YUUrGU. Seriya “Pishcheviye i biotekhnologii”. 2016; 4: 105–113. (In Russian)

6. Rekomenduemiye urovni potrebleniya pishchevykh i biologicheskii aktivnykh veshchestv: Metodicheskiye rekomendatsii MR2.3.1.1915–04. M.: Federal'nyy tsentr Gos-sanepidnadzora Minzdrava Rossii [Recommended consumption levels of food and biologically active substances: Guidelines 2/3/1/915–04 MP Moscow: Federal Center for Sanitary Inspection Ministry of Health of Russia]. 2004: 28. (In Russian)

7. Rukovodstvo po metodam kontrolya kachestva i bezopasnosti biologicheskii aktivnykh dobavok k pishche [Guidelines for quality control and safety of biologically active food additives]. M.: Federal'nyy tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2004: 240. (In Russian)

8. *Skurikhin I.M., Tutel'yan V.A.* Tablitsy khimicheskogo sostava i kaloriynosti rossiyskikh produktov pitaniya [Tables of a chemical composition and caloric content of the Russian food]. Spravochnik. M.: DeLi print Publ., 2007: 276. (In Russian)

9. *Upadyshev M.T.* Rol' fenol'nykh soedineniy v protsessakh zhiznedeyatel'nosti sadovykh rasteniy [Role of phenolic compounds in the processes of vital activity of garden plants]. M.: Izd. Dom MSP. 2008: 320. (In Russian)

10. *Chupakhina G.N., Maslennikov P.V., Skrypnik L.N., Chupakhina N.Yu., Fedurayev P.V.* Antioksidantniye svoystva kul'turnykh rasteniy Kaliningradskoy oblasti: monografiya [Antioxidant properties of cultural plants in the Kaliningrad region: Monograph]. Kaliningrad: Izd-vo BFU im. I. Kanta, 2016: 145. (In Russian)

11. *Sharova Ye.I.* Antioksidanty rasteniy: ucheb. posobiye [Antioxidants of plants: Study manual]. SPb.: Izd-vo S. – Peterb. un-ta, 2016: 140. (In Russian)

12. *Shirko T.S., Yaroshevich I.V.* Biokhimiya i kachestvo plodov [Fruit biochemistry and quality]. Mn.: Nauka i tekhnika, 1991: 294. (In Russian)

13. *Aaby K., Skrede G., Wrolstad R.E.* Phenolic composition and antioxidant activities in flesh and achenes of strawberries (*Fragaria × ananassa*) // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2005; 53: 4032–4040. DOI: 10.1021/jf048001o. (In English)

14. *Aaby K., Ekeberg D., Skrede G.* Characterization of phenolic compounds in strawberry (*Fragaria × ananassa*) fruits by different HPLC detectors and contribution of individual compounds to total antioxidant capacity // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007; 55: 4395–4406. DOI: 10.1021/jf0702592. (In English)

15. *Bastias J.M., Cepero Y.* Vitamin C as an effective micronutrient in the food fortification // Revista chilena de nutricion. 2016; 43; 1: 81–86. DOI: 10.4067/S0717-75182016000100012. (In English)

16. *Basu A., Nguyen A., Betts N.M., Lyons, T.J.* Strawberry as a Functional Food: An Evidence-Based Review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2014; 54; 6: 790–806. DOI: 10.1080/10408398.2011.608174. (In English)

17. *Clifford M.N.* Anthocyanins – nature, occurrence and dietary burden // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2000a; 80: 1063–1072. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<1063::AID-JSFA605>3.0.CO;2-Q. (In English)

18. *Garcia-Viguera C., Zafrilla P., Tomas-Barberan F.T.* The use of acetone as an extraction solvent for anthocyanins from strawberry // *Phytochemical analysis*. 1998; 9: 274–277.
19. *Giampieri F., Tulipani S., Alvarez-Suarez J.M., Quiles J.L., Mezzetti B., Battino M.* The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health // *Nutrition*. 2012; 28; 1: 9–19. DOI: 10.1016/j.nut.2011.08.009. (In English)
20. *Giampieri F., Forbes-Hernandez T.Y., Gasparrini M., Afrin S., Cianciosi D., Reboledo-Rodriguez P., Varela-Lopez A., Quiles J.L., Mezzetti B., Battino M.* The healthy effects of strawberry bioactive compounds on molecular pathways related to chronic diseases // *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2017; 1398; 1: 62–71. DOI: 10.1111/nyas.13373. (In English)
21. *Häkkinen S.H., Törrönen A.* Content of flavonols and selected phenolic acids in strawberries and *Vaccinium* species: Influence of cultivars, cultivation site and technique // *Food Research International*. 2000; 33: 517–524. DOI: /10.1016/S0963–9969(00)00086–7. (In English)
22. *Kähkönen M.P., Hopia A.I., Heinonen M.* Berry phenolics and their antioxidant activity // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001; 49: 4076–4082. DOI: 10.1021/jf010152t. (In English)
23. *Kim Y. – J., Shin Y.* Antioxidant profile, antioxidant activity, and physicochemical characteristics of strawberries from different cultivars and harvest locations // *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*. 2015; 58; 4: 587–595. DOI: 10.1007/s13765–015–0085-z. (In English)
24. *Kylli P.* Berry phenolics: isolation, analysis, identification, and antioxidant properties // Academic dissertation, University of Helsinki Department of Food and Environmental Sciences Food Chemistry. Helsinki, 2011: 90. (In English)
25. *Lim T.K.* Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants Vol. 4. Fruits. Publisher: Springer. 2012: 1038. (In English)
26. *Lopes-da-Silva F., de Pascual-Teresa S., Rivas-Gonzalo J., Santos-Buelga C.* Identification of anthocyanin pigments in strawberry (cv. Camarosa) by LC using DAD and ESI–MS detection // *European food research and technology*. 2002; 214: 248–253. DOI: 10.1007/s00217–001–0434–5. (In English)
27. *Lopes da Silva F., Escribano-Bailón T.M., Alonso J.P.J., Rivas-Gonzalo C.J., Santos-Buelga C.* Anthocyanin pigments in strawberry // *Food Science and Technology*. 40; 2: 374–382. DOI: 10.1016/j.lwt.2005.09.018. (In English)
28. *Määttä-Riihinen K.R., Kamal-Eldin A., Törrönen A.R.* Identification and quantification of phenolic compounds in berries of *Fragaria* and *Rubus* species (family *Rosaceae*) // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004; 52: 6178–6187. DOI: 10.1021/jf049450r. (In English)
29. *Mattila P., Hellstrom J., Törrönen R.* Phenolic acids in berries, fruits, and beverages // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006; 54: 7193–7199. DOI: 10.1021/jf0615247. (In English)
30. *Olas B.* Berry Phenolic Antioxidants – Implications for Human Health? // *Frontiers in pharmacology*. 2018; 9. DOI: 10.3389/fphar.2018.00078. (In English)
31. *Szajdek A., Borowska E.J.* Bioactive compounds and health-promoting properties of berry fruits: a review // *Plant Foods for Human Nutrition*. 2008; 63: 147–156. DOI: 10.1007/s11130–008–0097–5. (In English)
32. *Tokus,og'lu Ö., Hall III C.* Fruit and Cereal Bioactives: Sources, Chemistry, and Applications. CRC Press, 2013: 473. (In English)
33. *Tulipani S., Mezzetti B., Capocasa F., Bompadre S., Beekwilder J., Ric de Vos C.H., Capanoglu E., Arnaud Bovy A., Battino M.* Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008; 56: 696–70. (In English)

Жбанова Екатерина Викторовна, д.с.-х.н, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии и пищевых технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина» (393774, Россия, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Мичурина, 30, тел.: +7 (47545) 5-78-87, e-mail: info@fnc-mich.ru).

Лукьянчук Ирина Васильевна, к.с.-х.н., старший научный сотрудник лаборатории частной генетики и селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина» (393774, Россия, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Мичурина, 30, тел.: +7 (47545) 5-78-87, e-mail: info@fnc-mich.ru).

Миронов Алексей Михайлович, ведущий специалист отдела научного развития инфраструктуры наукограда «Дирекция по реализации Программы развития города Мичуринска как наукограда Российской Федерации» (393774, Россия, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Мичурина 30, корп. 2, тел.: +7 (47545) 5-25-38, e-mail: naukograd-michurinsk@yandex.ru).

Yekaterina V. Zhanova, DSc (Ag), Key Research Associate, the Laboratory of Biochemistry and Food Technology, "I.V. Michurin Federal Scientific Centre" (Michurinsk, Michurina Str., 30., Tambov Region, Russia, 393774, phone: +7 (47545) 5-78-87, e-mail: info@fnc-mich.ru).

Irina V. Luk'yanchuk, PhD (Ag), Senior Research Associate, the Laboratory of Specific Plant Genetics and Breeding, "I.V. Michurin Federal Scientific Centre" (Michurinsk, Michurina Str., 30., Tambov Region, Russia, 393774, phone: +7 (47545) 5-78-87, e-mail: info@fnc-mich.ru).

Aleksei M. Mironov, Key Specialist, the Department of Scientific Development of Infrastructure "Directorate for the Implementation of the Development Program of Michurinsk as a Science Town of the Russian Federation" (Michurinsk, Michurina Str., 30., bld 2, the Tambov Region, Russia, 393774, phone: +7 (47545) 5-25-38, e-mail: naukograd-michurinsk@yandex.ru).