

Перевод на английский язык <https://vavilov.elpub.ru/jour>

Биохимический состав плодов томата различной окраски

А.Б. Курина , А.Е. Соловьева, И.А. Храпалова, А.М. Артемьева

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия
 nastya_n11@mail.ru

Аннотация. Томат (*Lycopersicon esculentum* Mill.) – экономически важная и широко возделываемая овощная культура, потребляется как в свежем, так и в переработанном виде. Пищевая ценность плодов томата связана с содержанием в них каротиноидов, полифенолов, растворимых сахаров, органических кислот, минералов и витаминов. В настоящее время растет интерес к качественному и количественному увеличению содержания полезных для здоровья соединений в плодах томата. Коллекция генетических ресурсов *Lycopersicon* (Tourn.) Mill. Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) включает 7678 образцов одного культурного и девяти диких видов, что представляет широкие возможности для поиска сведений об изменчивости содержания биологически активных веществ и отбора в генофонде источников с высоким их содержанием. В нашей работе приведены результаты изучения 70 образцов культурного и дикорастущего томата по основным биохимическим признакам – содержанию сухого вещества, аскорбиновой кислоты, сахаров, каротинов, хлорофиллов и антоцианов. Для изучения взяты образцы с разнообразной окраской плодов, включая новые образцы с различным содержанием антоциана. В результате исследования определена амплитуда изменчивости содержания сухих веществ (3.72–8.88 и 9.62–11.33 %), сахаров (1.50–5.65 и 2.20–2.70 %), аскорбиновой кислоты (12.40–35.56 и 23.62–28.14 мг/100 г), титруемой кислотности (0.14–0.46 и 0.33–0.48 %), хлорофиллов (0.14–5.11 и 2.95–4.57 мг/100 г), общих каротиноидов (0.97–99.86 и 1.03–10.06 мг/100 г) и антоцианов (3.00–588.86 и 84.31–152.71 мг/100 г) в плодах культурного и дикорастущего томата соответственно. Определены корреляционные связи между содержанием сухих веществ и моносахаридов ($r = 0.40, p \leq 0.05$), суммы сахаров ($r = 0.37, p \leq 0.05$) и аскорбиновой кислоты ($r = 0.32, p \leq 0.05$), содержанием аскорбиновой кислоты и каротиноидов ($r = 0.25, p \leq 0.05$). Выявлена высокая зависимость содержания хлорофиллов *a* и *b* между собой ($r = 0.89, p \leq 0.05$), а также зависимость средней степени между содержанием хлорофилла *b* и антоцианов ($r = 0.47, p \leq 0.05$), содержанием β -каротина ($r = 0.26, p \leq 0.05$) и содержанием моносахаридов ($r = -0.29, p \leq 0.05$). Выделены образцы томата с высоким содержанием отдельных химических веществ, а также по комплексу признаков, которые могут быть использованы в качестве источников в селекции на повышенное содержание сухого вещества, сахаров, аскорбиновой кислоты, пигментов и антоцианов.

Ключевые слова: томат; окраска плодов; биохимические соединения; пигменты; антоцианы.

Для цитирования: Курина А.Б., Соловьева А.Е., Храпалова И.А., Артемьева А.М. Биохимический состав плодов томата различной окраски. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;25(5):514-527. DOI 10.18699/VJ21.058

Biochemical composition of tomato fruits of various colors

A.B. Kurina , A.E. Solovieva, I.A. Khrapalova, A.M. Artemyeva

Federal Research Center the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia
 nastya_n11@mail.ru

Abstract. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) is an economically important and widely cultivated vegetable crop that is consumed both fresh and processed. The nutritional value of tomato fruits is related to the content of carotenoids, polyphenols, sugars, organic acids, minerals and vitamins. Currently, there is a growing interest in the qualitative and quantitative increase in the content of health-promoting compounds in tomato fruits. VIR *Lycopersicon* (Tourn.) Mill. genetic resources collection includes 7678 accessions of one cultivated and nine wild species, which in turn provides ample opportunities for searching for information on the variability of the content of biologically active substances and searching for sources with a high content of them in the gene pool. Our work presents the results of the study of 70 accessions of cultivated and wild tomato on the main biochemical characteristics: the content of dry matter, ascorbic acid, sugars, carotenoids, chlorophylls and anthocyanins. As the basis for the selection of accessions for the study, accessions with various colors of fruits, including new accessions with varying content of anthocyanin, were taken. As a result of this study, the amplitude of variability in the content of dry matter (3.72–8.88 and 9.62–11.33 %), sugars (1.50–5.65 and 2.20–2.70 %), ascorbic acid (12.40–35.56 and 23.62–28.14 mg/100 g), titratable acidity (0.14–0.46 and 0.33–0.48 %), chlorophylls (0.14–5.11 and 2.95–4.57 mg/100 g), carotenoids (0.97–99.86 and 1.03–10.06 mg/100 g) and anthocyanins (3.00–588.86 and 84.31–152.71 mg/100 g) in the fruits of cultivated and wild tomatoes, respectively, was determined. We have determined correlations between the content of dry matter and monosaccharides ($r = 0.40, p \leq 0.05$), the sum of sugars ($r = 0.37, p \leq 0.05$) and ascorbic acid ($r = 0.32, p \leq 0.05$); the content of ascorbic acid and carotenoids ($r = 0.25, p \leq 0.05$). A high dependence of the content of chlorophyll *a* and *b* among themselves ($r = 0.89, p \leq 0.05$), as well as be-

tween the content of chlorophyll *b* and anthocyanins ($r = 0.47, p \leq 0.05$), the content of β -carotene ($r = 0.26, p \leq 0.05$) and the content of monosaccharides ($r = -0.29, p \leq 0.05$) has been noted. We have identified tomato accessions with a high content of individual chemical substances, as well as with a complex of traits that can be used as sources in breeding for a high content of dry matter, sugars, ascorbic acid, pigments and anthocyanins.

Key words: tomato; fruit color; biochemical compounds; pigments; anthocyanins.

For citation: Kurina A.B., Solovieva A.E., Khrapalova I.A., Artemyeva A.M. Biochemical composition of tomato fruits of various colors. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(5):514-527. DOI 10.18699/VJ21.058

Введение

Полезные свойства овощей связаны с наличием в них разнообразных соединений – фитохимических веществ, необходимых для здоровья человека. Овощные культуры являются основными источниками природных антиоксидантов, которые обладают химиозащитным и противораковым действием (Zanfini et al., 2010; Chandra, Ramalingam, 2011).

Томат (*Lycopersicon esculentum* Mill. = syn. *Solanum lycopersicum* L.) – экономически важная культура, занимающая по площади возделывания на земном шаре первое место среди овощных культур, потребляется как в свежем, так и в переработанном виде. Ежегодно в мире на 4.85 млн га выращивается около 182.3 млн т плодов томатов (FAOSTAT, 2019). На Азию приходится 61.1 % мирового производства, на Европу, Америку и Африку – 13.5, 13.4 и 11.8 % от общего урожая соответственно. Потребление томатов сконцентрировано в Китае, Индии, Северной Африке, на Ближнем Востоке, в США и Бразилии и составляет от 61.9 до 198.9 кг на душу населения (FAOSTAT, 2019).

Томат был завезен в Европу в 16-м веке из Центральной и Юго-Западной Америки. Первоначально его использовали как декоративное растение, а затем постепенно он стал важной культурой в питании человека (Peralta, Spooner, 2007). В результате доместикации в мире было выведено несколько групп сортов томатов, различающихся размером, формой и окраской плодов (Bhattarai et al., 2018). В процессе одомашнивания большая часть генетической изменчивости была утрачена (Bai, Lindhout, 2007), отбор в пользу новых признаков продуктивности оказал негативное влияние на некоторые другие важные особенности, такие как устойчивость к стрессорам и качество плодов (Tanksley, 2004; Gascuel et al., 2017).

Нутрицевтическая ценность плодов томата объясняется содержанием в них каротиноидов, полифенолов, растворимых сахаров, органических кислот, минералов и витаминов, особенно витаминов С и Е (Leiva-Brondo et al., 2012; Raiola et al., 2015; Martí et al., 2016), а также летучих соединений (Wang, Seymour, 2017). Их антиоксидантная способность зависит как от липофильных (каротиноиды и витамин Е), так и от гидрофильных (витамин С и фенольные соединения) фракций (Pić et al., 2009). Каротиноиды томатов – основной источник ликопина в рационе человека (Viuda-Martos et al., 2014). В томатах флавоноиды антоцианы обычно не содержатся, но обнаружены флавонолы (в основном кверцетин, мирицетин и кемпферол) и флаваноны (наригенин) (Scarano et al., 2018). Биоактивные соединения плодов томата обладают широким спектром физиологических свойств, включая противовоспалительные, антиаллергенные, противомик-

робные, сосудорасширяющие, антитромботические, кардиопротекторные и антиоксидантные эффекты (Martí et al., 2016; Mozos et al., 2018). Эпидемиологические данные свидетельствуют о том, что потребление томатов и томатных продуктов связано со снижением риска развития рака простаты и других хронических заболеваний (Campbell et al., 2004; Zanfini et al., 2010; Wei, Giovannucci, 2012; Friedman, 2013).

В настоящее время растет интерес к качественному и количественному увеличению содержания полезных для здоровья соединений в плодах томата с целью дальнейшего повышения нутрицевтического потенциала культуры. Современные биохимические исследования направлены на выявление и количественное определение компонентов растительного сырья и оценку их биологической активности. Такие данные необходимы и для разработки полезных пищевых и нутрицевтических добавок.

Мировая коллекция томата *Lycopersicon* (Tournef.) Mill. Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) включает 7678 образцов одного культурного и девяти диких видов (по: Rick, 1959). Томат съедобный *L. esculentum* Mill. насчитывает 6536 сортовых и 1505 гибридных популяций (F_3 – F_5). Первые образцы томата поступили в коллекцию ВИР в 1922 г. в результате экспедиции Н.И. Вавилова и С.М. Букасова в США и Канаду. Это были штамбовые индетерминантные формы с различной окраской плодов, актуальные для использования в селекции до настоящего времени. Затем коллекция пополнилась образцами различного типа роста и развития и морфологических особенностей из 95 стран мира, т. е. в ней сосредоточено широчайшее разнообразие культуры для различных направлений использования и источников для селекции. Коллекция продолжает пополняться; так, в настоящее время большое внимание уделяется вовлечению в коллекцию конкурентоспособных образцов с нетрадиционной окраской плодов: желтой, оранжевой, розовой, малиновой, зеленой, коричневой, фиолетовой, «черной», отличающихся повышенным содержанием биологически активных флавоноидов и пигментов.

Современная структура коллекции томата ВИР: образцы дикорастущих видов – 196; примитивные формы – 371; староместные сорта – 551; селекционные и любительские сорта – 4188; гибриды – 1511; мутантные формы – 49; самоопыленные линии – 118; генетические источники с идентифицированными генами – 278; доноры – 17 образцов.

Цель нашей работы – сравнительная оценка образцов томата коллекции ВИР с различной окраской плодов по биохимическому составу. Главная задача заключалась в определении содержания основных химических ве-

ществ – сухого вещества, аскорбиновой кислоты, сахаров, хлорофиллов, каротиноидов и антоцианов – в различных образцах томата коллекции ВИР.

Материалы и методы

Объектом исследования послужили коллекционные, селекционные и гибридные образцы культурного и некоторых видов дикорастущего томата мировой коллекции ВИР (всего 70 образцов), различающиеся по многим фенологическим и морфологическим признакам: «продолжительность периода вегетации», «тип роста», «высота закладки плодовых соцветий», «количество и тип соцветий», «особенности цветка, завязываемости плодов», «форма, размер, характер поверхности и внутренней структуры плодов». В основе подбора образцов для исследований были образцы с разнообразной окраской плодов, включая новые образцы с различным содержанием антоциана. Изученные образцы томата представляли широкий спектр окраски плодов образцов коллекции в биологической спелости: зелено-фиолетовые, зелено-желтые, желтые, желто-оранжевые, желто-фиолетовые, оранжевые, оранжево-красные, красные, розовые, малиновые, красно-коричневые и фиолетово-красные, как с однородной окраской, так и с наличием желтых или зеленых полос (табл. 1).

Растения выращивали на территории Научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» в условиях остекленной теплицы в марте-октябре в 2019–2020 гг. Температурный режим поддерживали 22–30 °С днем и 16–22 °С ночью. Растения выращивали без досвечивания, только при естественном освещении. Продолжительность светового дня: от 11.5 ч в марте и сентябре до 18.6 ч в третьей декаде июня. Освещенность в зависимости от сезона выращивания варьировала от 4 до 10 тыс. лк/м². Использовали торфяной субстрат «Агро-Балт», полностью заправленный минеральными удобрениями. На 1 м² размещали 3–9 растений, в зависимости от габитуса растения. Агротехника, общепринятая для Северо-Западной зоны, включала подвязку и формирование растений, с учетом специфических условий зимней стеллажной теплицы.

Фенологическое и морфологическое описание проводили согласно «Международному классификатору СЭВ рода *Lycopersicon* Tourn.» (1986), “Descriptors Tomato (*Lycopersicon* spp.) IPGRI” (1996) и “Tomato – UPOV (*Solanum lycopersicum* L.)” (2012).

Биохимический анализ осуществляли в отделе биохимии и молекулярной биологии ВИР в фазе биологической спелости плодов. На исследование брали 1/2 часть не менее пяти плодов каждого образца в двойной повторности. Образцы были обработаны и проанализированы, как описано ранее (Методы..., 1987): содержание сухих веществ определяли гравиметрическим методом, сахаров – методом Бертрана, общей (титруемой) кислотности – титрованием экстракта 0.1 н. щелочью, с пересчетом на яблочную кислоту, аскорбиновой кислоты – методом прямого извлечения из растений 1 % соляной кислоты с последующим титрованием с помощью 2,6-дихлориндофенола (реактив Тильманса), каротиноиды и хлорофиллы были выделены с использованием 100 % ацетона, и их

абсорбция была измерена на спектрофотометре Ultrospec II при различных длинах волн (нм): 645, 662 для хлорофиллов *a* и *b*, 440 – для каротиноидов, 454 – для каротинов (суммарное содержание каротинов определяли методом бумажной хроматографии), 454 – для β-каротина, 503 – для ликопина. Антоцианы извлечены экстракцией раствором 1 % соляной кислоты с последующим спектрофотометрированием при длине волны 510 нм, в пересчете на цианидин-3,5-дигликозид (453 нм). Для внесения поправки на содержание зеленых пигментов одновременно определяли оптическую плотность полученных экстрактов при 657 нм. Все данные приведены в пересчете на сырое вещество.

Статистический анализ. Описательная статистика (среднее значение, медиана, стандартная ошибка, стандартное отклонение, диапазон изменчивости) рассчитана для всех биохимических параметров для оценки генетического разнообразия томатов. Анализ данных выполняли с использованием программного обеспечения STATISTICA v. 12.0 (StatSoft Inc., США). Тестирование данных на нормальность распределения осуществляли, применяя критерий Шапиро–Уилка и график квантиль-квантиль (QQ Plot). Средние значения данных с нормальным распределением сравнивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA), корреляционный анализ – с использованием коэффициента корреляции Пирсона. Данные с распределением, отличным от нормального, сравнивали, применяя критерий Краскела–Уоллиса, корреляционный анализ – с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Кластерный анализ проводили методом UPGMA в программе PAST (Hammer et al., 2001).

Результаты и обсуждение

При исследовании важнейших показателей биохимического состава плодов томата установлены различия между изучаемыми образцами.

Содержание сухого вещества

Одним из важнейших показателей качества плодов томата и их технологических свойств является содержание сухих веществ. У изученных образцов содержание сухих веществ в плодах культурного томата было в пределах 3.72–8.88 % (Cv = 14.7 %), в плодах дикорастущих видов – 9.62–11.33 % (Cv = 6.2 %) (табл. 2). Плоды с повышенной концентрацией сухих веществ имеют хорошие вкусовые качества, дают больший выход продукции при переработке, обладают лучшей транспортабельностью и лежкостью при хранении. В среднем образцы с красно-коричневой окраской плодов накапливали больше сухих веществ (6.46 %), чем остальные. Высокое содержание сухих веществ (более 7.00 %) отмечено у образцов Сливка красная, Ампельный F₁ и Патрикеевна. Среди образцов дикорастущих видов наибольшее количество сухих веществ в плодах накапливали образцы вида *L. peruvianum*: 10.25–11.33 %.

В нашем исследовании выявлены слабые положительные корреляционные связи у образцов культурного томата между содержанием сухих веществ и моносахаридов ($r = 0.40$, $p \leq 0.05$), суммы сахаров ($r = 0.37$, $p \leq 0.05$) и аскорбиновой кислоты ($r = 0.32$, $p \leq 0.05$). Таким образом,

Таблица 1. Список изученных образцов томата

№ п/п	№ каталога ВИР	Название	Происхождение/фирма	Окраска плода
Образцы культурного съедобного томата <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. = <i>Solanum lycopersicum</i> L.				
1	вр.к-15325	Цитрусовый сад	Крым, Феодосия	Лимонно-желтая
2	вр.к-15343	Патрикеевна	Семена Алтая, Ю.В. Фотев	Желтая
3	вр.к-15344	Золотце	Семена Алтая, Ю.В. Фотев	
4	к-3766	Янтарный	СЗНИИСХ	
5	вр.к-11243	Местный	Мадагаскар	
6	вр.к-15368	Желтый деликатес	Поиск	
7	вр.к-15303	Yellow Ruffles	США	
8	г.к-01040	Цыпа F ₁	ВИР	
9	вр.к-15361	Indigo Gold Berries	США, Висконсин	Желтая с антоцианом
10	вр.к-15306	Stripes of Yorc	США	
11	вр.к-15333	Утенок	ВСТИСП, В.И. Козак	Желто-оранжевая
12	вр.к-14426	Хурма	ССФ Гисок	
13	вр.к-15338	Дина	ИОГен	
14	вр.к-15365	Gold Medal	США, Висконсин	
15	вр.к-15309	Японский трюфель оранжевый	Сибирский сад	Оранжевая
16	вр.к-15315	Илья Муромец	Огородное изобилие	
17	вр.к-15319	Чемальский 2	Алтайский край	
18	вр.к-15328	Местный	Алтайский край, Рубцовск, рынок	
19	вр.к-15369	Макси-каротин F ₁	ВИР	
20	к-4085	Сливка красная	ЦС Ботанический сад, Семена Алтая	Оранжево-красная
21	к-6582	Карлик картофельный	г. Волхов, Ленинградская область	
22	вр.к-15357	Подарок Кубани	ФНЦО, Поиск	
23	к-4482	Новичок	Волгоградская ОС ВИР	
24	к-4895	Ассорти	ВИР	
25	вр.к-14430	Валюта	ВИР	
26	вр.к-15321	Бедуин	Севастополь	
27	вр.к-15323	Гибрид Буденовка × Черный Принц	Севастополь	Оранжево-красная с фиолетовым отливом
28	вр.к-15310	Майкл Поллан	Наш сад	Оранжево-красная с зелеными полосами
29	вр.к-15326	Перцевидный местный	Крым	Оранжево-красная с желтыми полосами
30	вр.к-15345	Черри розовый	ЦС Ботанический сад	Розовая
31	вр.к-15352	Непас 12	Седек	
32	вр.к-15356	Суперклуша	О.В. Постникова	
33	к-6881	Дикая роза	Приднестровский НИИСХ, Аэлита	
34	вр.к-15308	Японский трюфель розовый	Сибирский сад	
35	вр.к-15312	Персик	Седек	
36	вр.к-15317	Бычье сердце розовое	Алтайский край	
37	вр.к-15320	Амурский тигр	Крым	Розовая с желтыми полосами
38	вр.к-15322	Перцевидный розовый	Севастополь	Розовая
39	к-6938	Зырянка	ЦС Ботанический сад	Красная
40	вр.к-15347	Hardins Miniature	США	
41	к-4571	Ион	ВНИИССОК	
42	к-2497	Монгольский карлик	Партнер	
43	к-3043	Невский	СЗНИИСХ	
44	вр.к-15350	Каменный цветок	В.И. Блокин-Мечталин	

Окончание табл. 1

№ п/п	№ каталога ВИР	Название	Происхождение/фирма	Окраска плода
45	вр.к-15351	Красная россыпь	Поиск	Красная
46	к-5647	Крайний север	Биотехника, В.И. Козак	
47	вр.к-15335	Северная малютка	ВСТИСП, В.И. Козак	
48	к-7035	Буденовка	ССФ Томагрос	
49	вр.к-15367	Speckled Roman	США, Висконсин	Красная с желтыми полосами
50	к-6128	Черный принц	НПК НК-ЛТД	Красно-коричневая
51	вр.к-15354	Ампельный F ₁	ССА Ильинична	
52	к-7256	Черный мавр	НПК НК-ЛТД	
53	к-5169	Cherokee Purple	США, Теннесси	
54	вр.к-15314	Виатра	Гавриш	
55	вр.к-13341	Indigo Blue Berries	США, Висконсин	Фиолетово-красная
56	вр.к-15362	Indigo Helsing Junction Blue	США, Висконсин	
57	вр.к-15363	Indigo Clackamas Blue Berry	США, Висконсин	
58	вр.к-15364	Indigo Apple	США, Висконсин	
59	вр.к-15366	Ananas Noire	США, Висконсин	
60	вр.к-15302	OSU Blue	США	
61	вр.к-15304	Blue Berry	США	
62	вр.к-15305	Amethyst Jewel	США	
63	вр.к-15307	Лягушка-царевна	Гавриш	Зелено-желтая
64	к-5407	Rin	НИИОХ	
Дикорастущие несъедобные виды				
<i>Lycopersicon peruvianum</i> Mill. = <i>Solanum peruvianum</i> L.				
<i>Lycopersicon glandulosum</i> C.H. Muell = <i>Solanum corneliomuelleri</i> J.F. Macbr.				
65	к-3924	<i>L. peruvianum</i> Mill. PL 129152	Япония	Зелено-фиолетовая
66	к-3960	<i>L. peruvianum</i> Mill. var. <i>dentatum</i> FPI 128650/1236	Чили	
67	к-3962	<i>L. peruvianum</i> Mill. var. <i>dentatum</i> FPI 128652/1238	Чили	
68	к-2904	<i>L. glandulosum</i> C.F. Mull. ES 495	Индия	
69	к-3944	<i>L. glandulosum</i> C.F. Mull.	Перу	
70	к-2099	<i>L. peruvianum</i> Mill.	США	

увеличение количества одного из этих биохимических характеристик в плодах слабо повлияет на увеличение и остальных трех показателей.

Полученные нами результаты по содержанию сухих веществ согласуются с данными других исследований (Gurta et al., 2011; Nour et al., 2013; Кондратьева, Енгальчев, 2019; Игнатова и др., 2020), где сообщалось о содержании сухих веществ в плодах томата в пределах 5.55–8.80 %.

Содержание сахаров

Большую часть сухих веществ в плодах томатов составляют углеводы, основную из них – растворимые сахара. В нашем исследовании содержание суммы сахаров у культурных форм достигало 1.50–5.65 % (Cv = 26.2 %), у дикорастущих видов – 2.20–2.70 % (Cv = 6.4 %) (см. табл. 2). Высокая вариабельность этого показателя у культурного томата связана как с генетическими особенностями, так и с условиями выращивания. В плодах томата растворимые моносахариды представлены главным образом глюкозой

и фруктозой. Среднее содержание моносахаридов составило 2.84 % у культурных и 1.98 % – у дикорастущих томатов. Высокое содержание суммы сахаров, в том числе и моносахаридов, отмечено у образцов Суперклуша и Патрикеевна – 5.35 и 5.65 % соответственно.

Олигосахариды в плодах томата представлены в основном дисахаридом сахарозой. У изученных образцов содержание дисахаридов было низким и в среднем составляло 0.2.–0.4 % как у культурных, так и у дикорастущих форм. Сорта Каменный цветок, Золотце и Дикая роза содержали в плодах более 1.2 % дисахаридов.

В ряде работ показано, что зеленые плоды дикорастущих видов томата накапливают преимущественно сахарозу, а плоды культурного томата – глюкозу и фруктозу (Stommel, 1992; Beckles et al., 2012). В нашем исследовании плоды дикорастущего томата накапливали больше моносахаридов, чем дисахаридов, что, возможно, связано с условиями выращивания. Для Ленинградской области характерна низкая инсоляция, что, вероятнее всего, и является причиной низкого накопления дисахаридов.

Таблица 2. Параметры описательной статистики образцов культурного и дикорастущего томата по биохимическим признакам

Признак	Тип	$X_{cp} \pm \text{ст. ошиб.}$	Медиана	Мин–Макс	Ст. откл.
Сухое вещество, %	Культурный	5.65 ± 0.10	5.65	3.72–8.88	0.83
	Дикорастущий	10.28 ± 0.25	10.28	9.62–11.33	0.61
Сумма сахаров, %	Культурный	3.06 ± 0.10	3.06	1.50–5.65	0.79
	Дикорастущий	2.42 ± 0.07	2.44	2.20–2.70	0.17
Моносахариды, %	Культурный	2.84 ± 0.10	2.83	1.47–5.65	0.82
	Дикорастущий	1.98 ± 0.10	1.94	1.65–2.33	0.25
Общая кислотность, %	Культурный	0.28 ± 0.01	0.26	0.14–0.46	0.08
	Дикорастущий	0.40 ± 0.02	0.39	0.33–0.48	0.06
Аскорбиновая кислота, мг/100 г	Культурный	20.78 ± 0.64	19.22	12.40–35.56	5.12
	Дикорастущий	26.22 ± 0.75	26.29	23.62–28.14	1.84
Хлорофиллы*, мг/100 г	Культурный	1.40 ± 0.13	1.12	0.14–5.11	1.17
	Дикорастущий	3.83 ± 0.24	3.94	2.95–4.57	0.60
Хлорофилл а*, мг/100 г	Культурный	0.64 ± 0.07	0.45	0.05–2.81	0.58
	Дикорастущий	2.56 ± 0.16	2.59	2.02–3.03	0.38
Хлорофилл б*, мг/100 г	Культурный	0.76 ± 0.07	0.69	0.08–2.61	0.59
	Дикорастущий	1.27 ± 0.09	1.34	0.93–1.54	0.22
Общие каротиноиды*, мг/100 г	Культурный	21.86 ± 2.83	12.18	0.97–99.86	22.61
	Дикорастущий	2.68 ± 1.48	1.27	1.03–10.06	3.62
Каротиноиды*, мг/100 г	Культурный	5.74 ± 0.44	5.98	0.68–15.91	3.51
	Дикорастущий	1.19 ± 0.07	1.13	1.03–1.40	0.16
Ликопин*, мг/100 г	Культурный	16.20 ± 2.63	7.44	0.00–89.39	21.02
	Дикорастущий	–	–	–	–
Каротины*, мг/100 г	Культурный	2.31 ± 0.19	2.10	0.27–6.24	1.50
	Дикорастущий	0.62 ± 0.07	0.58	0.50–0.90	0.15
β-каротин, мг/100 г	Культурный	0.68 ± 0.05	0.68	0.08–1.62	0.39
	Дикорастущий	0.20 ± 0.01	0.21	0.17–0.24	0.03
Антоцианы*, мг/100 г	Культурный	45.20 ± 12.81	10.63	3.00–588.86	102.48
	Дикорастущий	125.30 ± 9.68	125.85	84.31–152.71	23.70

* Показатели, у которых распределение отличается от нормального.

По данным А.В. Кузёменского (2004), содержание сахаров в плодах томата варьирует в пределах 2.81–4.41 %, в исследованиях гибридов F₁ содержание сахаров было 2.12–6.00 % (Игнатова и др., 2020).

Титруемая кислотность и сахаро-кислотный индекс

В плодах образцов культурного томата титруемая кислотность варьирует в пределах 0.14–0.46 % (C_v = 28.4 %) при среднем содержании 0.28 %, у дикорастущих – 0.33–0.48 % (C_v = 15.0 %) при среднем содержании 0.40 %. Низкое содержание титруемых кислот (менее 0.19 %) выявлено у следующих образцов томата: Карлик картофельный, Утенок, Янтарный, Gold Medal и Yellow Ruffles. Высокое содержание (более 0.40 %) отмечено у образцов томата с розовой, оранжевой, оранжево-красной и желто-фиолетовой окраской плодов: Амурский тигр, Бычье сердце, Stripes of Yorc, Японский трюфель розовый и

оранжевый, Валюта. У дикорастущих видов томатов высокая кислотность (0.48 %) обнаружена у двух образцов: *L. glandulosum* (к-3944, Перу) и *L. peruvianum* (к-2099, США).

Похожие результаты по уровню титруемой кислотности получены и в других исследованиях. В работах R.V. Nour et al. (2013) и J. Owusu et al. (2012) титруемая кислотность варьировала от 0.10 до 0.41 %.

Вкус плодов определяется показателем отношения сахара к кислоте. Доказано, что этот показатель изменяется в зависимости от почвенно-климатических условий, агротехники возделывания и сортовых особенностей культуры, степени зрелости плода (Кондратьева, Павлов, 2009). Отношение сахара к кислоте – это показатель качества плодов, и чем он выше, тем вкуснее продукт.

Установлено, что все изучаемые образцы имели различный сахаро-кислотный индекс. Его уровень у куль-

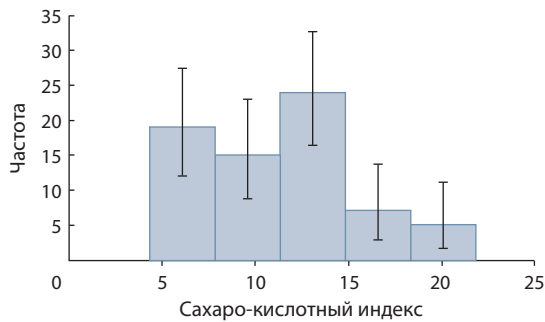


Рис. 1. Распределение образцов томата по сахаро-кислотному индексу.

турных томатов колебался в пределах 4.41–21.80 ($C_v = 34.1\%$), у дикорастущих – 4.63–7.01 % ($C_v = 14.2\%$). Образцы томата по уровню сахаро-кислотного индекса разделились на шесть статистически достоверных групп (рис. 1). Первая группа включала 16 образцов томата, которые характеризовались низким индексом: 4.4–7.3. В эту группу вошли все образцы дикорастущего томата, а также образцы культурного томата с желтой (Местный), желто-фиолетовой (Stripes of York), оранжево-красной (Валюта), оранжевой (Японский трюфель оранжевый), розовой (Японский трюфель розовый, Амурский тигр), красной (Северная малютка, Крайний север) и зеленой (Rin) окраской плодов. Вторая (7.3–10.2), третья (10.2–13.1) и четвертая (13.1–16.0) группы включали в себя по 14–17 образцов с различной окраской плодов. Пятую и шестую группы составляли образцы с высоким индексом: 16.0–21.8. Эти группы представлены образцами с желтой (Патрикеевна), желто-оранжевой (Дина, Gold Medal), розовой (Дикая роза), красной (Зырянка), оранжево-красной (Карлик картофельный), фиолетово-красной (Indigo Helsing Junction Blue, Amethyst Jewel) и красно-коричневой (Черный принц) окраской плодов.

Содержание аскорбиновой кислоты

Пищевая ценность плодов томата определяется, прежде всего, высоким содержанием витаминов, среди которых аскорбиновая кислота (витамин С) занимает одно из первых мест. Содержание аскорбиновой кислоты в проанализированных плодах культурного томата варьировало от 12.40 до 35.56 мг/100 г ($C_v = 24.6\%$) при среднем содержании 20.78 мг/100 г, у дикорастущих – от 23.62 до 28.14 мг/100 г ($C_v = 6.0\%$) при среднем содержании 26.22 мг/100 г. Высокое содержание аскорбиновой кислоты (более 30 мг/100 г) отмечено у сортов Утенок, Amethyst Jewel, Японский трюфель розовый и оранжевый.

У исследуемых образцов была установлена слабая взаимосвязь содержания аскорбиновой кислоты с содержанием сухих веществ ($r = 0.32, p \leq 0.05$) и каротиноидов ($r = 0.25, p \leq 0.05$).

В работе (Nour et al., 2013) наблюдались значительные различия в содержании аскорбиновой кислоты в разных сортах томатов: 91.9–329.7 мг·кг⁻¹. R.A. Dag и J.P. Sharma (2011) обнаружили содержание аскорбиновой кислоты в диапазоне от 197.7 до 378 мг·кг⁻¹ сырого вещества, M.Ch. Harish et al. (2012) – в пределах 20.23–29.32 мг/100 г.

Таким образом, наши результаты частично согласуются с уже имеющимися данными и в свою очередь расширяют пределы изменчивости содержания аскорбиновой кислоты в плодах томата.

Содержание хлорофиллов

Количество пигментов и их соотношение существенно влияют на метаболизм растений и могут различаться в зависимости от вида или сорта растения, а также от фазы его онтогенеза (Белова и др., 2012).

Хлорофилл в большом количестве имеется в незрелых плодах томата, в процессе созревания он разрушается. Во время созревания томатов деградация хлорофилла происходит одновременно с биосинтезом и накоплением каротиноидов, оба процесса ответственны за изменение цвета плодов.

В нашем исследовании общее содержание хлорофиллов у культурных томатов было в пределах 0.14–5.11 мг/100 г, у дикорастущих – 2.95–4.57 мг/100 г (см. табл. 2). Образцы томата с разной окраской плодов различались по содержанию хлорофиллов *a* и *b* (рис. 2).

Помимо общего содержания хлорофилла, приспособленность растений к определенному режиму освещения проявляется и в качественном составе пигментов. В нашем исследовании ожидаемо наибольшее количество хлорофилла *a* в плодах накапливали образцы дикорастущего томата, у культурных форм высокое содержание отмечено у образцов с зелено-желтой (1.45–1.69 мг/100 г), красно-коричневой (1.25–2.32 мг/100 г) окраской плодов и у нескольких образцов с фиолетово-красной окраской плодов: Blue Berry (вр.к-15304) – 1.53 мг/100 г и Indigo Claskamas Blue Berry (вр.к-15363) – 2.81 мг/100 г. Остальные образцы содержали хлорофилл *a* не более 1.00 мг/100 г.

Образцы томата с желтой, желто-оранжевой, красной, оранжевой, оранжево-красной, розовой и фиолетово-красной окраской плодов накапливали в плодах больше хлорофилла *b*. Наибольшее содержание (более 1.00 мг/100 г) отмечено в плодах дикорастущего томата и у большинства образцов культурного томата с фиолетово-красной окраской плодов, а также у отдельных образцов с красной: Монгольский карлик (1.20 мг/100 г), Невский (1.76 мг/100 г), Крайний север (2.43 мг/100 г); оранжево-красной: Бедуин (1.14 мг/100 г), Подарок Кубани (1.89 мг/100 г), Валюта (2.61 мг/100 г) и розовой: Черри розовый (1.46 мг/100 г), Непас 12 (1.58 мг/100 г) – окраской плодов.

Одним из информативных показателей, характеризующих потенциальную фотохимическую активность плодов, является отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (*a/b*). Возможное влияние созревания плодов на скорость разрушения пигментов отражалось на величине отношения содержания хлорофиллов – *a* к *b*. В нашем исследовании в общем фонде хлорофилла культурных томатов преобладает хлорофилл *b*. У большинства изученных образцов культурного томата величина соотношения хлорофилла *a/b* находилась в пределах 0.45–2.17, у образцов дикорастущих видов – 1.85–2.53. Все образцы с зелено-желтой и красно-коричневой окраской плодов, а также некоторые образцы с желтой (Желтый деликатес, Золотце), красной (Зырянка), оранжево-красной (Новичок, Гибрид Буденовка × Черный Принц) и фиолетово-красной (Blue

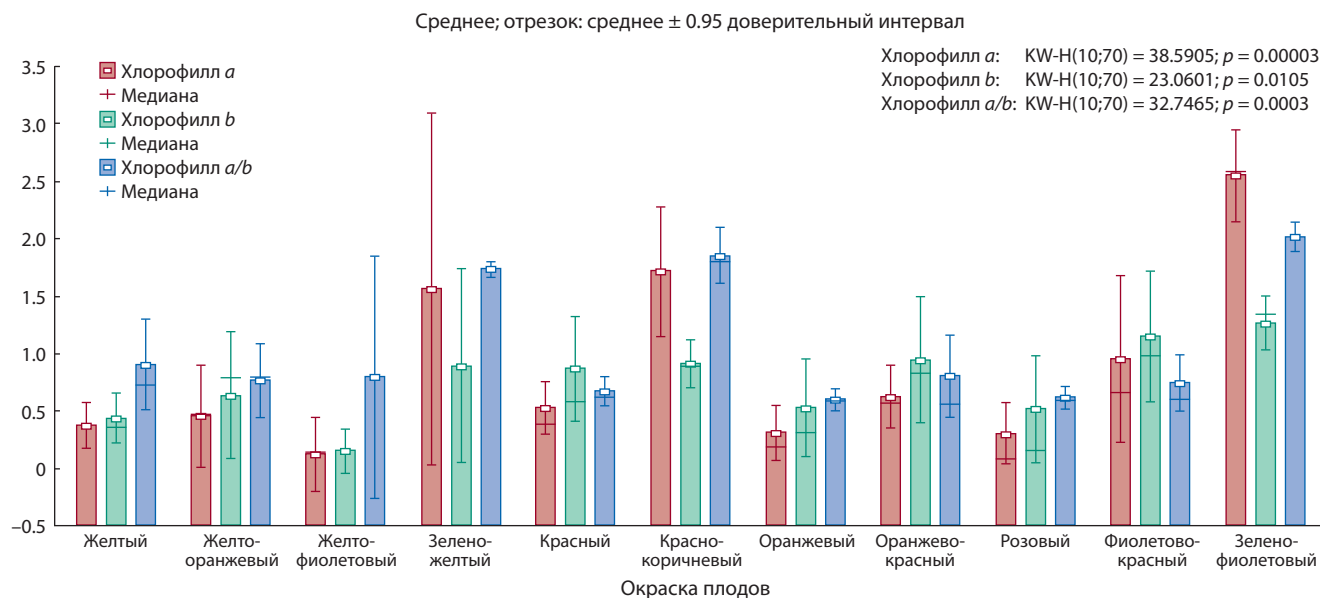


Рис. 2. Изменчивость образцов томата различной окраски плодов по содержанию хлорофиллов.

Berry, Indigo Clackamas Blue Berry) окраской плодов имели соотношение хлорофилла *a/b* больше 1.

В целом образцы с зелено-фиолетовой, зелено-желтой, красно-коричневой и фиолетово-красной окраской в сумме накапливали больше хлорофиллов в своих плодах – более 2.40 мг/100 г; образцы с оранжево-красной, красной и желто-оранжевой окраской – в пределах 1.10–1.58 мг/100 г, суммарное содержание хлорофиллов в плодах с другой окраской не превышало 0.85 мг/100 г.

Таким образом, можно предположить, что наличие хлорофиллов в плодах томата с желтой, желто-оранжевой, оранжевой, оранжево-красной, красной и розовой окраской связано с тем, что процесс деградации хлорофилла еще не был закончен и шел параллельно с синтезом каротиноидов, и превалирование хлорофилла *b* говорит о том, что интенсивность фотосинтеза уже была снижена. Высокое накопление хлорофиллов в плодах отдельных образцов томата с красной, оранжево-красной и желто-оранжевой окраской плодов может быть связано с наличием зеленого пятна у плодоножки.

Содержание каротиноидов

Разнообразие окраски плодов томата – результат мутаций генов каротиноидного пути, которые возникли в результате доместикации и улучшения сортов: *yellow-flesh (r)*, *tangerine (t)*, *green-flesh (gf)*, *green ripe (gr)*, *apricot (at)*, *beta carotene (B)*, *high pigment (hp)*, *old gold (og)* и *y (yellow)* (Roohanitaziani et al., 2020). Изменяя классическую для томата красную окраску, такие гены, прежде всего, действуют на его биохимический состав, и в особенности на содержание каротиноидов, позволяя создавать сорта с измененным содержанием этих веществ (Кузёменский, 2004).

Наиболее распространенными каротиноидами красных сортов томата являются красный пигмент ликопин и желто-оранжевый β -каротин, а в оранжевых и желтых сортах могут присутствовать также лютеин, ζ -каротин,

нейроспорин и др. (Khachik et al., 2002). Другие идентифицированные каротиноиды томата – γ -каротин, фитоеин, фитофлюен, содержатся в следовых количествах (Голубкина и др., 2017).

Пигментный комплекс плодов изученных образцов томата характеризовался высоким содержанием каротиноидов. Общее содержание каротиноидов в плодах культурного томата было в пределах 0.97–99.86 мг/100 г, при среднем содержании 21.86 мг/100 г, у дикорастущего томата – 1.03–10.06 мг/100 г, при среднем содержании 2.68 мг/100 г.

Изменчивость содержания каротинов в изученных образцах томата была высокой: $C_v = 64.9\%$. В среднем у образцов культурного томата содержание каротинов составило 2.31 мг/100 г, из них β -каротин – 0.68 мг/100 г (рис. 3). Высоким содержанием каротина характеризовались образцы томата с красно-коричневой (в среднем 3.25 мг/100 г) и оранжевой (4.03 мг/100 г) окраской плодов, низкое (менее 0.80 мг/100 г) отмечено у образцов с желтой, желто-зеленой, желто-фиолетовой и зелено-фиолетовой окраской плодов, у остальных было в среднем 1.66–2.85 мг/100 г. При этом высокое содержание β -каротина отмечалось в образцах томата с розовой (в среднем 0.89 мг/100 г) и оранжево-красной (0.95 мг/100 г) окраской плодов, чуть меньше (0.81–0.82 мг/100 г) в образцах с красно-коричневой и оранжевой окраской плодов. Образцы Валюта (вр.к-14430), Крайний север (к-5647) и Новичок (к-4482) имели более 1.40 мг/100 г β -каротина.

Ликопин является нециклическим изомером β -каротина. Содержание ликопина в плодах культурного томата варьировало от 0.00 до 89.39 мг/100 г, в плодах дикорастущего томата ликопин не обнаружен (см. табл. 2). Различия между образцами по содержанию ликопина очень велики, в том числе и внутри групп по окраске плодов. Высоким содержанием характеризовались образцы с розовой и оранжево-красной окраской плодов (в среднем 26.32–32.52 мг/100 г), образцы с зелено-желтой, желтой

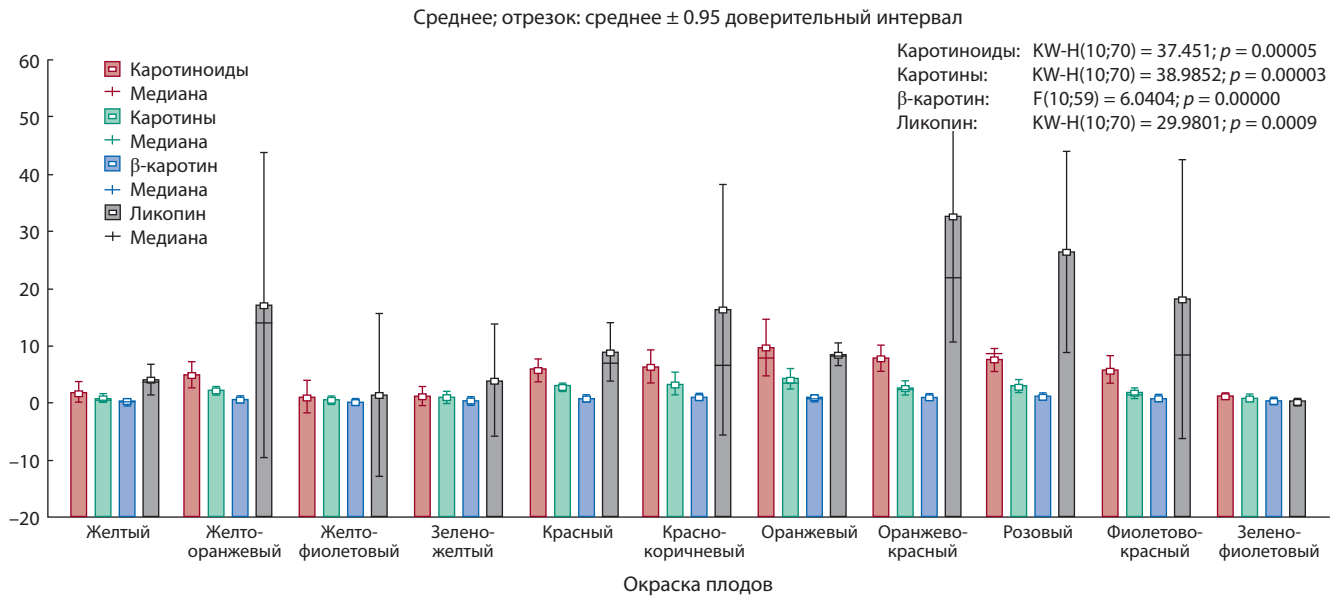


Рис. 3. Изменчивость образцов томата различной окраски плодов по содержанию каротиноидов.

и желто-фиолетовой окраской плодов накапливали его значительно меньше – менее 6.5 мг/100 г. Образцы с красной и оранжевой окраской плодов в нашем изучении имели близкие значения по содержанию ликопина, 8.80 и 8.37 мг/100 г, как и образцы с красно-коричневой, желто-оранжевой и фиолетово-красной окраской плодов: 16.12, 17.04 и 18.04 мг/100 г соответственно (см. рис. 3).

У образцов с желто-оранжевой окраской плодов – Дина и Gold Medal, красно-коричневой – Виатра и фиолетово-красной – OSU Blue – установлено высокое содержание ликопина (для каждой группы): 21.62, 38.71, 45.67 и 89.39 мг/100 г соответственно. Образец Желтый деликатес не накапливал ликопин в плодах.

Содержание ликопина и β-каротина в работах других исследователей очень различны. R.V. Noug с коллегами (2013) при изучении 10 красноплодных томатов выявили, что содержание ликопина находится в пределах 19.7–49.0 мг · кг⁻¹, а β-каротина – 6.4–12.8 мг · кг⁻¹. В работе S. Anjum et al. (2020) в результате изучения 185 образцов томата показано, что содержание ликопина 1.57–23.24 мг · 100 г⁻¹, β-каротина – 1.32–7.61 мг · 100 г⁻¹. R.S. Pal с коллегами (2018) сообщили о содержании ликопина у изученных 22 линий томата в пределах 3.05–9.83 мг/100 г и β-каротина – 4.32–7.31 мг/100 г. И.Ю. Кондратьева и Н.А. Голубкина (2016) обнаружили содержание ликопина у образцов томата с желтой и оранжевой окраской плодов в пределах 0.0–2.6 мг/100 г, в плодах с красной и розовой окраской – 3.3–11.5 мг/100 г, β-каротина – 0.8–6.2 и 0.8–3.1 мг/100 г соответственно.

В нашем исследовании у образцов с желтой, желто-оранжевой и желто-фиолетовой окраской плодов доля β-каротина от общего содержания каротиноидов составляет 25.7–28.4 %, а доля каротиноидов от каротиноидов – 41.5–42.8 %. Таким образом, мы можем предположить, что остальными каротиноидными пигментами у данных образцов являются ксантофиллы, в том числе лютеин. В то же время образцы с желто-оранжевой окраской плодов на-

капливали значительное количество ликопина (в среднем 17.0 мг/100 г). Образцы с зелено-желтой окраской плодов характеризовались высокой долей каротиноидов в каротиноидном комплексе – 71.7 %, но β-каротин составлял в среднем лишь 20.0 %. У образцов с красной, красно-коричневой и оранжевой окраской плодов доля каротиноидов была в пределах 42.5–52.0 %, а β-каротина – 20.1–26.3 %, при этом образцы с этими окрасками плодов накапливали наибольшее количество каротиноидов (в среднем 2.7–4.0 мг/100 г) по сравнению с остальными образцами. Образцы с оранжево-красной и розовой окраской плодов имели наибольшее количество ликопина – в среднем 26.3–32.5 мг/100 г, при этом доля каротиноидов была небольшой: 34.5–38.2 %, с долей β-каротина в пределах 31.3–36.1 %. У образцов с фиолетово-красной окраской плодов доля каротиноидов составляла 29.0 % с преобладанием β-каротина.

Таким образом, можно предположить, что в плодах томата также присутствуют другие каротиноидные пигменты, которые не были определены нами, – лютеин, ζ-каротин, γ-каротин, нейроспорин, фитоеин, фитофлюен и др., что согласуется с другими исследованиями (Khachik et al., 2002; Голубкина и др., 2017).

Содержание антоцианов

В норме растения культурного томата не синтезируют антоцианы в плодах. Три локуса, *Anthocyanin fruit (Aft)*, *atrorivoliacium (atv)* и *Aubergine (Abg)*, усиливают накопление антоцианов в плодах, когда они интрогрессируются в культурные томаты из дикорастущих видов (Kendrick et al., 1997; Jones et al., 2003). Локусы *atv*, *Aft* и *Abg* у дикорастущих видов томата могут способствовать пигментации антоцианов в плодах, а локус *atv* может резко увеличивать количество антоцианов в культурных плодах томатов, когда он сочетается с локусом *Aft* или *Abg* (Mes et al., 2008). Большая часть антоцианов, имеющихся в плодах таких томатов, сосредоточена в кожице при практически полном отсутствии в семенах и мякоти (Ooe et al., 2016).

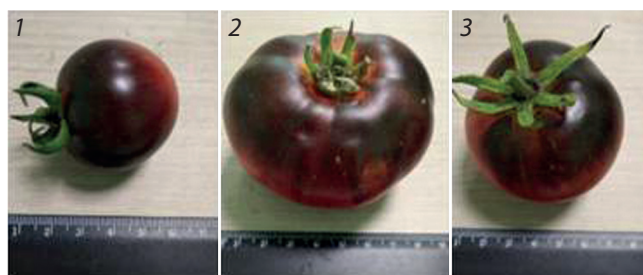


Рис. 4. Образцы томата с высоким содержанием антоцианов: Indigo Clackamas Blue Berry (1), Indigo Apple (2), Ananas Noire (3).

В нашей работе значительное количество антоцианов отмечено в образцах культурного томата с фиолетово-красной (32.89–588.86 мг/100 г) и желто-фиолетовой (87.91–161.22 мг/100 г) окраской плодов, а также в плодах дикорастущего томата (84.31–152.71 мг/100 г) (рис. 4).

В образцах с другими окрасками плодов также обнаружены антоцианы, но в значительно меньших количествах. Плоды с красной окраской накапливали антоцианы в среднем 14.09 мг/100 г, с желтой, желто-оранжевой, зелено-желтой, оранжевой и оранжево-красной – в пределах 10.62–11.77 мг/100 г, а образцы с красно-коричневой и розовой окраской плодов – менее 9.0 мг/100 г. У образца томата Speckled Roman с красной с желтыми полосами окраской плодов выявлено содержание антоцианов 53.3 мг/100 г.

В результате корреляционного анализа обнаружена высокая зависимость содержания хлорофиллов *a* и *b* между собой ($r = 0.89, p \leq 0.05$), а также средняя положительная зависимость между содержанием хлорофилла *b* и антоцианов ($r = 0.47, p \leq 0.05$), слабая – с содержанием β -каротина ($r = 0.26, p \leq 0.05$) и слабая отрицательная – с содержанием

моносахаридов ($r = -0.29, p \leq 0.05$). Между содержанием хлорофилла *a* и антоциана выявлена также положительная корреляция средней степени ($r = 0.37, p \leq 0.05$).

В исследовании (Jones et al., 2003) показано, что количество антоцианов в кожуре «синих» томатов (“blue” tomato) колебалось от 20.6 до 66.5 мг/100 г, в другой работе количество антоцианов в кожуре варьировало от 7.79 до 110.79 мг/100 г (Peter et al., 2008). В исследовании «пурпурных» томатов (“purple” tomato), полученных методом генной инженерии, *Del/Ros1. Del/Ros1* × *AtMYB12*, обнаружено содержание антоциана $5.1 \pm 0.5 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$ сухого вещества и $1.154 \pm 0.011 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ сырого вещества (Lim et al., 2014; Zhang et al., 2015), а в образцах томата, полученных селекционным путем, *Aft/Aft* × *atv/atv*, – $116.11 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ сырого вещества (Mes et al., 2008), *V118* – $50.18 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ сухого вещества (Li et al., 2011), Blue Japan Indigo tomato – $17 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$ сухого вещества (Ooe et al., 2016) и *Aft/Aft* × *atv/atv* × *hp2/hp2* – $90.91 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ сырого вещества (Da Silva-Souza et al., 2020). В другой работе (Ooe et al., 2016) также сообщается о том, что образцы «синих» томатов накапливают значительное количество ликопина.

Таким образом, наши исследования содержания антоцианов в плодах томата согласуются с предыдущими исследованиями. В результате проведенной биохимической оценки мы выделили образцы томата по комплексу признаков, которые могут быть использованы в качестве источников в селекции на повышенное содержание сахаров и биологически активных веществ (табл. 3).

Кластерный анализ

По результатам кластерного анализа изученных биохимических показателей образцов томата (в соответствии с табл. 2) построена дендрограмма (рис. 5). Образцы томата разделили на две группы, малую и большую, внутри второй группы выделено пять кластеров.

Таблица 3. Образцы томата по комплексу биохимических признаков

№ п/п	Образец	Сумма сахаров, %	Аскорбиновая кислота, мг/100 г	Ликопин, мг/100 г	β -каротин, мг/100 г	Антоцианы, мг/100 г
1	Суперклуша	5.35 ± 0.32	16.12 ± 1.32	15.22 ± 2.34	1.07 ± 0.11	4.25 ± 0.25
2	Японский трюфель розовый	2.91 ± 0.97	34.58 ± 9.49	26.22 ± 9.29	0.86 ± 0.02	21.29 ± 8.18
3	Японский трюфель оранжевый	2.94 ± 0.81	35.56 ± 6.35	6.48 ± 2.94	1.14 ± 0.01	13.43 ± 2.35
4	Бедуин	3.10 ± 0.07	24.88 ± 2.47	86.57 ± 15.32	1.10 ± 0.36	10.78 ± 1.88
5	OSU Blue	3.12 ± 0.41	24.05 ± 4.19	89.39 ± 14.28	1.29 ± 0.11	169.28 ± 94.94
6	Крайний север	1.85 ± 0.20	19.84 ± 2.81	29.01 ± 5.41	1.53 ± 0.59	11.39 ± 1.57
7	Новичок	4.36 ± 0.49	17.36 ± 2.59	2.82 ± 0.92	1.62 ± 0.14	7.65 ± 0.93
8	Ananas Noire	3.10 ± 0.78	23.56 ± 3.77	7.01 ± 1.04	0.35 ± 0.12	430.30 ± 98.35
9	Indigo Clackamas Blue Berry	2.48 ± 0.2	24.80 ± 1.75	9.61 ± 1.87	1.03 ± 0.18	588.86 ± 171.89
10	Черный мавр	2.43 ± 1.07	16.12 ± 2.56	19.15 ± 4.7	1.02 ± 0.13	4.17 ± 2.34
11	Виagra	4.42 ± 0.23	17.30 ± 1.84	45.67 ± 6.50	1.12 ± 0.11	7.80 ± 1.21
12	Перцевидный розовый	2.98 ± 0.56	29.70 ± 9.37	69.24 ± 15.84	1.01 ± 0.64	3.37 ± 1.24
13	Бычье сердце розовое	3.24 ± 0.94	16.24 ± 1.92	43.24 ± 10.75	1.06 ± 0.63	4.72 ± 1.32
14	Черри розовый	3.75 ± 0.74	26.04 ± 3.23	34.15 ± 3.59	1.17 ± 0.13	3.79 ± 1.12
	Среднее по коллекции	3.06 ± 0.10	20.78 ± 0.64	15.95 ± 2.60	0.68 ± 0.05	50.35 ± 11.94
	HCP ₀₅	1.02	4.32	–	0.15	–

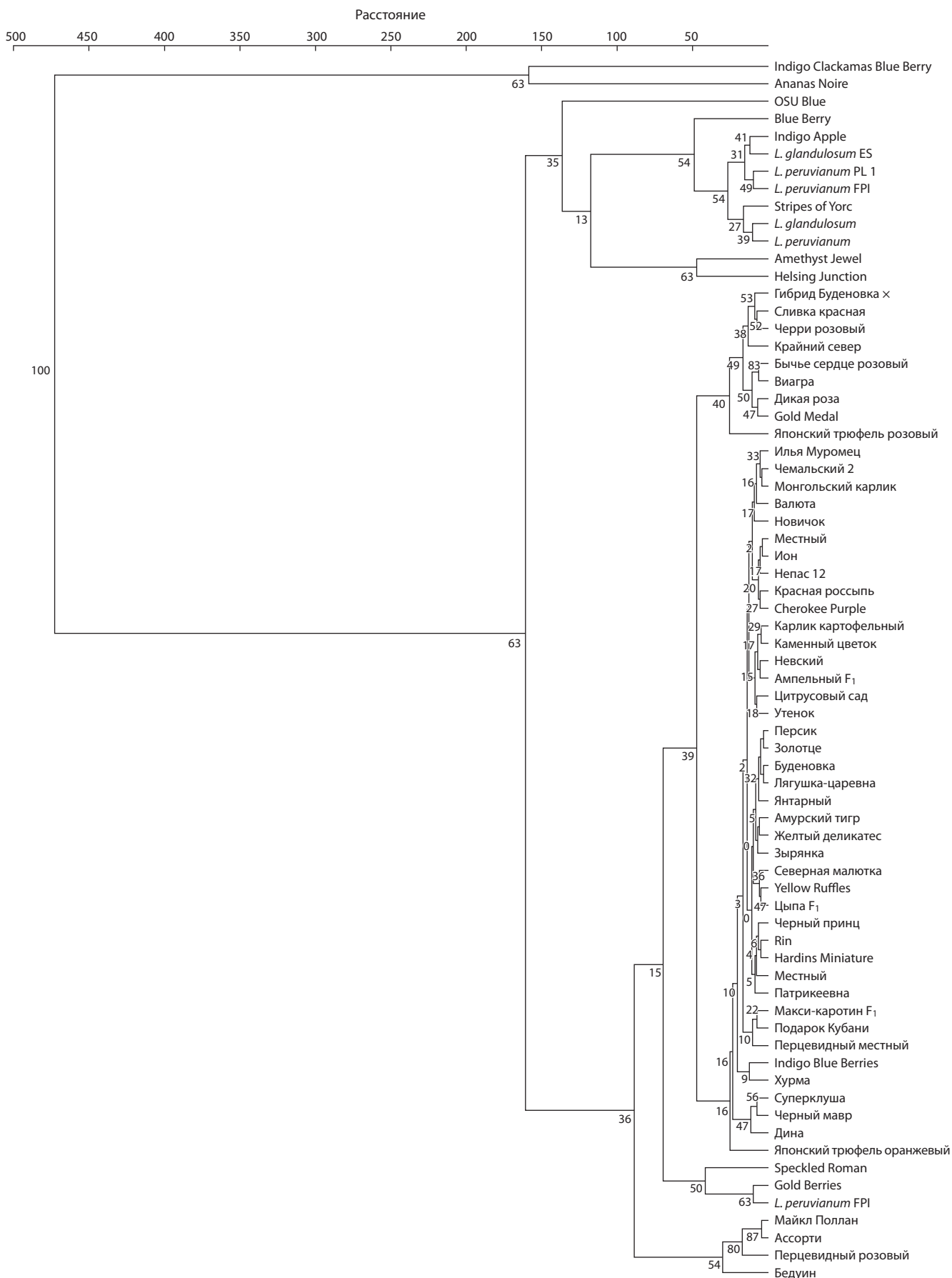


Рис. 5. Дендрограмма образцов томата по основным биохимическим показателям. Метод UPGMA.

Цифры указывают величину бутстрэпа. Названия образцов даны в соответствии с табл. 1.

В первый кластер вошли два образца томата с высоким содержанием антоциана и хлорофиллов в плодах: Ananas Noire (430.3 и 2.63 мг/100 г) и Indigo Clackamas Blue Berry (588.9 и 5.11 мг/100 г).

Второй кластер разделен на три подкластера. Первый подкластер представлен одним образцом из США – OSU Blue, второй – образцами дикорастущего томата *L. glandulosum* (к-2904, к-3944) и *L. peruvianum* (к-2099, к-3924, к-3962), а также образцами культурного томата Stripes of Yorc с желто-фиолетовой окраской плодов и Indigo Apple (вр.к-15364) и Blue Berry (вр.к-15304) с фиолетово-красной окраской плодов. Третий подкластер включал два образца с фиолетово-красной окраской плодов – Amethyst Jewel и Indigo Helsing Junction Blue. Эта группа образцов характеризовалась также высоким содержанием антоцианов: от 120.4 до 281.3 мг/100 г, а образцы первого и третьего подкластера имели высокое содержание ликопина: 89.4, 16.4 и 11.6 мг/100 г соответственно.

Третий кластер включал образцы томата с розовой (Дикая роза, Бычье сердце розовое, Черри розовый, Японский трюфель розовый), оранжево-красной (Сливка красная, Гибрид Буденовка × Черный принц), желто-оранжевой (Gold Medal), красной (Крайний север) и красно-коричневой (Виагра) окраской плодов. Эти образцы обладали высоким содержанием общих каротиноидов – 44.96 ± 5.97 мг/100 г, из которых ликопина было 36.57 ± 6.45 мг/100 г, каротинов – 3.01 ± 1.37 мг/100 г, и низким содержанием антоцианов.

Четвертый кластер был самой большой, он объединял 41 образец с различной окраской плодов и был разделен на шесть подкластеров. Первый подкластер представлен 16 образцами преимущественно с красной и оранжевой окраской плодов, которые содержали каротины в среднем 3.03 ± 1.31 мг/100 г и ликопин – 6.35 ± 1.92 мг/100 г, также в эту группу вошли несколько образцов с довольно высоким содержанием хлорофиллов. Второй подкластер объединял также 16 образцов, но преимущественно с желтой и зелено-желтой окраской плодов и несколько – с красной и розовой. Данные образцы характеризовались низким содержанием общих каротиноидов (6.28 ± 2.36 мг/100 г), в том числе и ликопина – в среднем 3.78 ± 2.50 мг/100 г. Третий подкластер представлен тремя образцами с оранжевой и оранжево-красной окраской плодов. Они обладали довольно высоким содержанием хлорофиллов – 1.19–2.88 мг/100 г, антоцианов – 18.41 ± 5.04 мг/100 г и общих каротиноидов – 17.04 ± 2.22 мг/100 г, из которых содержание ликопина составляло 10.54 ± 0.15 мг/100 г, каротина – 3.56 ± 1.33 мг/100 г. Четвертый подкластер формируют два образца – Indigo Blue Berries с фиолетово-красной и Хурма с желто-оранжевой окраской плодов. Пятый подкластер представлен тремя образцами: Дина, Черный мавр и Суперклуша, с высоким содержанием общих каротиноидов (в среднем 25.71 ± 1.59 мг/100 г), из которых ликопина – 18.66 ± 3.23 мг/100 г и каротинов (3.28 ± 1.75 мг/100 г), β-каротина было в среднем 0.83 ± 0.38 мг/100 г, и содержанием суммы сахаров в среднем 3.91 %. В шестой подкластер вошел один образец, Японский трюфель оранжевый, характеризующийся высоким содержанием всех каротиноидов и низким – хлорофиллов,

а также высоким содержанием аскорбиновой кислоты и титруемой кислотности.

Пятый кластер включал образец дикорастущего томата *L. peruvianum* (к-3960) и два образца культурного томата с желто-фиолетовой (Indigo Gold Berries) и красной с желтыми полосами (Speckled Roman) окраской плодов. Эти образцы имели среднее содержание антоцианов в плодах: в пределах 53.3–87.9 мг/100 г.

Шестой кластер представлен четырьмя образцами с оранжево-красной (Бедуин, Ассорти, Майкл Поллан) и розовой (Перцевидный розовый) окраской плодов, которые отличались высоким содержанием ликопина – в среднем 71.90 ± 9.91 мг/100 г.

Таким образом, образцы первых двух кластеров характеризовались высоким содержанием антоциана и хлорофиллов, а также аскорбиновой кислоты в плодах. Образцы второго и пятого кластеров обладали высоким содержанием сухого вещества, а образцы третьего и шестого кластеров – высоким содержанием суммы сахаров, общих каротиноидов, с преимуществом ликопина и β-каротина. Четвертый кластер объединял образцы томата в среднем с небольшим содержанием каротиноидов и антоцианов, но высоким – каротинов. Образцы пятого кластера имели среднее содержание антоцианов и низкое – каротиноидов.

Закключение

В результате исследования выявлено, что образцы томата коллекции ВИР с различной окраской плодов значительно различаются по биохимическому составу. Нами определена амплитуда изменчивости основных биохимических признаков: сухих веществ, сахаров, аскорбиновой кислоты, титруемой кислотности, пигментов и антоцианов. Обнаружены корреляционные связи между содержанием сухих веществ и содержанием моносахаридов ($r = 0.40$, $p \leq 0.05$), суммы сахаров ($r = 0.37$, $p \leq 0.05$) и аскорбиновой кислоты ($r = 0.32$, $p \leq 0.05$); содержанием аскорбиновой кислоты и каротиноидов ($r = 0.25$, $p \leq 0.05$). Установлены высокая зависимость содержания хлорофиллов *a* и *b* между собой ($r = 0.89$, $p \leq 0.05$), а также средняя положительная зависимость между содержанием хлорофилла *b* и антоцианов ($r = 0.47$, $p \leq 0.05$), слабая – с содержанием β-каротина ($r = 0.26$, $p \leq 0.05$) и слабая отрицательная – с содержанием моносахаридов ($r = -0.29$, $p \leq 0.05$). Между содержанием хлорофилла *a* и антоциана показана также положительная корреляция средней степени ($r = 0.37$, $p \leq 0.05$).

Выявлено, что образцы с красно-коричневой окраской плодов накапливают больше сухих веществ. Образцы с зелено-фиолетовой, зелено-желтой, красно-коричневой и фиолетово-красной окраской в сумме накапливают больше хлорофиллов в плодах – более 2.40 мг/100 г, образцы с оранжево-красной, красной и желто-оранжевой окраской – в пределах 1.10–1.58 мг/100 г. Высоким содержанием каротина характеризуются образцы томата с красно-коричневой (в среднем 3.25 мг/100 г) и оранжевой (4.03 мг/100 г) окраской плодов, низким (менее 0.80 мг/100 г) – образцы с желтой, желто-зеленой, желто-фиолетовой и зелено-фиолетовой окраской плодов. Высокое содержание β-каротина отмечено у образцов томата с розовой (в среднем 0.89 мг/100 г) и оранжево-крас-

ной (0.95 мг/100 г) окраской плодов, чуть меньше (0.81–0.82 мг/100 г) у образцов с красно-коричневой и оранжевой окраской плодов.

Определено, что различия по содержанию ликопина между образцами очень велики, в том числе и внутри групп по окраске плодов. Высокое содержание ликопина показано у образцов с розовой и оранжево-красной окраской плодов (в среднем 26.32–32.52 мг/100 г), образцы с зелено-желтой, желтой и желто-фиолетовой окраской плодов накапливали его существенно меньше – менее 6.5 мг/100 г. Большое количество антоцианов содержали образцы томата с фиолетово-красной (32.89–588.86 мг/100 г) и желто-фиолетовой (87.91–161.22 мг/100 г) окраской плодов, а также образцы дикорастущего томата (84.31–152.71 мг/100 г). В образцах с другой окраской плодов также обнаружены антоцианы, но в значительно меньших количествах.

Мы выделили образцы томата как с высоким содержанием отдельных химических веществ, так и по комплексу признаков, которые могут быть использованы в качестве источников в селекции на повышенное содержание сухого вещества, сахаров, аскорбиновой кислоты, пигментов и антоцианов.

Список литературы / References

- Белова А.Ю., Мурашев С.В., Вержук В.Г. Влияние пигментов в листьях растений на формирование и свойства плодов. *Науч. журн. НИУ ИТМО. Сер. Процессы и аппараты пищевых производств*. 2012;1(13):13.
- [Belova A.Yu., Murashev S.V., Verzhuk V.G. Influence of pigments in plants leaves on formation and properties of fruit production. *Nauchny Zhurnal NIU ITMO. Seriya Protsessy i Apparaty Pishchevykh Proizvodstv = Scientific Journal NRU ITMO. Series Processes and Food Production Equipment*. 2012;1(13):13. (in Russian)]
- Голубкина Н.А., Молчанова А.В., Тареева М.М., Бабак О.Г., Некрасевич Н.А., Кондратьева И.Ю. Количественная тонкослойная хроматография в оценке каротиноидного состава томата *Solanum lycopersicum*. *Овощи России*. 2017;5:96-99. DOI 10.18619/2072-9146-2017-5-96-99.
- [Golubkina N.A., Molchanova A.V., Tareeva M.M., Baback O.G., Nekrashevich N.A., Kondratyeva I.Yu. Quantitative thin layer chromatography for evaluation of carotenoid composition of tomatoes *Solanum lycopersicum*. *Ovoshchi Rossii = Vegetable Crops of Russia*. 2017;5:96-99. DOI 10.18619/2072-9146-2017-5-96-99. (in Russian)]
- Игнатова С.И., Бабак О.Г., Багирова С.Ф. Создание высоколикопиновых гибридов томата для теплиц с использованием традиционных методов селекции и молекулярных маркеров. *Овощи России*. 2020;5:22-28. DOI 10.18619/2072-9146-2020-5-22-28.
- [Ignatova S.I., Babak O.G., Bagirova S.F. Development of high-lycopene tomato hybrids using conventional breeding techniques and molecular markers. *Ovoshchi Rossii = Vegetable Crops of Russia*. 2020;5:22-28. DOI 10.18619/2072-9146-2020-5-22-28. (in Russian)]
- Кондратьева И.Ю., Голубкина Н.А. Ликопин и β-каротин томата. *Овощи России*. 2016;4:80-83. DOI 10.18619/2072-9146-2016-4-80-83.
- [Kondratyeva I.Yu., Golubkina N.A. Lycopene and β-carotene in tomato. *Ovoshchi Rossii = Vegetable Crops of Russia*. 2016;4:80-83. DOI 10.18619/2072-9146-2016-4-80-83. (in Russian)]
- Кондратьева И.Ю., Енгальчев М.Р. Оранжевоплодные сорта томата с высокими вкусовыми и лечебно-профилактическими свойствами. *Изв. ФНЦО*. 2019;2:71-78. DOI 10.18619/2658-4832-2019-2-71-78.
- [Kondratyeva I.Yu., Engalychev M.R. Orange-fruited tomato varieties with high taste and preventive-therapeutic properties. *Izvestiya Federalnogo Nauchnogo Tsentra Ovoshchevodstva = News of FSVC*. 2019;2:71-78. DOI 10.18619/2658-4832-2019-2-71-78. (in Russian)]
- Кондратьева И.Ю., Павлов Л.В. Содержание сухих веществ в плодах томата в зависимости от качественных и количественных признаков. *Картофель и овощи*. 2009;5:21.
- [Kondratyeva I.Yu., Pavlov L.V. Dry components concentration in tomato fruits in dependence of qualitative and quantitative parameters. *Kartofel i Ovoshchi = Potato and Vegetables*. 2009;5:21. (in Russian)]
- Кузёмский А.В. Селекционно-генетические исследования мутантных форм томата. Харьков, 2004.
- [Kuzymensky A.V. Breeding and Genetic Studies of Mutant Forms of Tomato. Kharkov, 2004. (in Russian)]
- Международный классификатор СЭВ рода *Lycopersicon* Tourn. Л., 1986.
- [International CMEA Classifier of the Genus *Lycopersicon* Tourn. Leningrad, 1986. (in Russian)]
- Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987.
- [Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P. Biochemical Methods in Plant Studies. Leningrad: Agropromizdat Publ., 1987. (in Russian)]
- Anjum S., Hamid A., Ghafoor A., Tahira R., Shah S., Awan S.I., Ahmad Kh.Sh. Evaluation of biochemical potential in tomato (*Solanum lycopersicum*) germplasm. *Pak. J. Agric. Sci.* 2020;57(1):177-187. DOI 10.21162/PAKJAS/20.8140.
- Bai Y., Lindhout P. Domestication and breeding of tomatoes: What have we gained and what can we gain in the future? *Ann. Bot.* 2007; 100(5):1085-1094. DOI 10.1093/aob/mcm150.
- Beckles D.M., Hong N., Stamova L., Luengwilai K. Biochemical factors contributing to tomato fruit sugar content: a review. *Fruits*. 2012;67(1):49-64. DOI 10.1051/fruits/20111066.
- Bhattarai K., Sharma S., Panthee D.R. Diversity among modern tomato genotypes at different levels in fresh-market breeding. *Int. J. Agron.* 2018;2018:1-15. DOI 10.1155/2018/4170432.
- Campbell J.K., Canene-Adams K., Lindshield B.L., Boileau T.W.-M., Clinton S.K., Erdman J.W. Jr. Tomato phytochemicals and prostate cancer risk. *J. Nutr.* 2004;134(12):3486-3492. DOI 10.1093/jn/134.12.3486S.
- Chandra H.M., Ramalingam S. Antioxidant potentials of skin, pulp, and seed fractions of commercially important tomato cultivars. *Food Sci. Biotechnol.* 2011;20(1):15-21. DOI 10.1007/s10068-011-0003-z.
- Da Silva-Souza M.A., Peres L.E.P., Freschi J.R., Purgatto E., Lajolo F.M., Hassimotto N.M.A. Changes in flavonoid and carotenoid profiles alter volatile organic compounds in purple and orange cherry tomatoes obtained by allele introgression. *J. Sci. Food Agric.* 2020;100(4):1662-1670. DOI 10.1002/jsfa.10180.
- Dar R.A., Sharma J.P. Genetic variability studies of yield and quality traits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Int. J. Plant Breed. Genet.* 2011;5(2):168-174. DOI 10.3923/ijpb.2011.168.174.
- Descriptors Tomato (*Lycopersicon* spp.) IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). Rome, Italy, 1996.
- FAOSTAT, 2019. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.
- Friedman M. Anticarcinogenic, cardioprotective, and other health benefits of tomato compounds lycopene, α-tomatine, and tomatidine in pure form and in fresh and processed tomatoes. *J. Agric. Food Chem.* 2013;61(40):9534-9550. DOI 10.1021/jf402654e.
- Gascuel Q., Diretto G., Monforte A.J., Fortes A.M., Granell A. Use of natural diversity and biotechnology to increase the quality and nutritional content of tomato and grape. *Front. Plant Sci.* 2017;8:652. DOI 10.3389/fpls.2017.00652.
- Gupta A., Kawatra A., Sehgal S. Physical-chemical properties and nutritional evaluation of newly developed tomato genotypes. *Afr. J. Food Sci. Technol.* 2011;2(7):167-172.

- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.* 2001;4(1):1-9.
- Harish M.Ch., Shanmugaraj B.M., Balamurugan S., Sathishkumar R. Influence of genotypic variations on antioxidant properties in different fractions of tomato. *J. Food Sci.* 2012;77(11):1174-1178. DOI 10.1111/j.1750-3841.2012.02962.x.
- Ilić Z., Aharon Z., Perzelan Y., Alkalai-Tuvia S., Fallik E. Lipophilic and hydrophilic antioxidant activity of tomato fruit during postharvest storage on different temperatures. *Acta Hort.* 2009;830(91):627-634. DOI 10.17660/ActaHortic.2009.830.91.
- Jones C.M., Mes P., Myers J.R. Characterization and inheritance of the *Anthocyanin fruit (Aft)* tomato. *J. Hered.* 2003;94(6):449-456. DOI 10.1093/jhered/esg093.
- Kendrick R.E., Kerckhoffs L.H.J., Van Tuinen A., Koornneef M. Photomorphogenic mutants of tomato. *Plant Cell Environ.* 1997;20:746-751.
- Khachik F., Carvalho L., Bernstein P.S., Muir G.J., Zhao D.-Y., Katz N.B. Chemistry, distribution, and metabolism of tomato carotenoids and their impact on human health. *Exp. Biol. Med.* 2002;227(10):845-851. DOI 10.1177/153537020222701002.
- Leiva-Brondo M., Valcárcel M., Cortés-Olmos C., Roselló S., Cebolla-Cornejo J., Nuez F. Exploring alternative germplasm for the development of stable high vitamin C content in tomato varieties. *Sci. Hort.* 2012;133:84-88. DOI 10.1016/J.SCIEN.2011.10.013.
- Li H., Deng Z., Liu R., Young J.C., Zhu H., Loewen S., Tsao R. Characterization of phytochemicals and antioxidant activities of a purple tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 2011;59(21):11803-11811. DOI 10.1021/jf202364v.
- Lim W., Miller R., Park J., Park S. Consumer sensory analysis of high flavonoid transgenic tomatoes. *J. Food Sci.* 2014;79(6):1212-1217. DOI 10.1111/1750-3841.12478.
- Martí R., Roselló S., Cebolla-Cornejo J. Tomato as a source of carotenoids and polyphenols targeted to cancer prevention. *Cancers (Basel)*. 2016;8(6):58. DOI 10.3390/cancers8060058.
- Mes P.J., Boches P., Myers J.R., Durst R. Characterization of tomatoes expressing anthocyanin in the fruit. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 2008;133(2):262-269. DOI 10.21273/JASHS.133.2.262.
- Mozos I., Stoian D., Caraba A., Malainer C., Horbanczuk J.O., Atanasov A.G. Lycopene and vascular health. *Front. Pharmacol.* 2018;9:521. DOI 10.3389/fphar.2018.00521.
- Nour R.V., Trandafir I., Ionica M.E. Antioxidant compounds, mineral content and antioxidant activity of several tomato cultivars grown in Southwestern. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca*. 2013;41(1):136-142. DOI 10.15835/nbha4119026.
- Ooe E., Ogawa K., Horiuchi T., Tada H., Murase H., Tsuruma K., Shimazawa M., Hara H. Analysis and characterization of anthocyanins and carotenoids in Japanese blue tomato. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2016;80(2):341-349. DOI 10.1080/09168451.2015.1091715.
- Owusu J., Ma H., Wang Z., Amissah A. Effect of drying methods on physicochemical properties of pretreated tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) slices. *Croat. J. Food Technol. Biotechnol. Nutr.* 2012;7(1-2):106-111.
- Pal R.S., Hedau N.K., Lakshmi Kant, Pattanayak A. Functional quality and antioxidant properties of tomato genotypes for breeding better quality varieties. *Electron. J. Plant Breed.* 2018;9(1):1-8. DOI 10.5958/0975-928X.2018.00001.7.
- Peralta I.E., Spooner D.M. History, origin and early cultivation of tomato (*Solanaceae*). In: Razdan M.K., Mattoo A.K. (Eds.) *Genetic Improvement of Solanaceous*. Enfield, USA: Science Publ., 2007. DOI 10.1201/b10744-2.
- Peter J.M., Peter B., James R.M. Characterization of tomatoes expressing anthocyanin in the fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 2008;133:262-269.
- Raiola A., Tenore G.C., Barone A., Frusciantè L., Rigano M.M. Vitamin E content and composition in tomato fruits: Beneficial roles and bio-fortification. *Int. J. Mol. Sci.* 2015;16(12):29250-29264. DOI 10.3390/ijms161226163.
- Rick C.M. Tomato. *Genet. Coop. Rept.* 1959;9:41-42.
- Roohanitaziani R., de Maagd R.A., Lammers M., Molthoff J., Meijer-Dekens R., van Kaauwen M.P.W., Finkers H.T., Tikunov Yu., Visser R.G.F., Bovy A.G. Exploration of a resequenced tomato core collection for phenotypic and genotypic variation in plant growth and fruit quality traits. *Genes*. 2020;11(11):1278. DOI 10.3390/genes11111278.
- Scarano A., Butelli E., de Santis S., Cavalcanti E., Hill L., de Angelis M., Giovinnazzo G., Chieppa M., Martin C., Santino A. Combined dietary anthocyanins, flavonols, and stilbenoids alleviate inflammatory bowel disease symptoms in mice. *Front. Nutr.* 2018;4:75. DOI 10.3389/fnut.2017.00075.
- Stommel J.R. Enzymatic components of sucrose accumulation in the wild tomato species *Lycopersicon peruvianum*. *Plant Physiol.* 1992;99(1):324-328. DOI 10.1104/pp.99.1.324.
- Tanksley S.D. The genetic, developmental, and molecular bases of fruit size and shape variation in tomato. *Plant Cell*. 2004;16(Suppl.):S181-S189. DOI 10.1105/tpc.018119.
- Tomato – UPOV (*Solanum lycopersicum* L.). 0007 TG/44/11 Rev. Geneva, 2012.
- Viuda-Martos M., Sanchez-Zapata E., Sayas-Barberá E., Sendra E., Pérez-Álvarez J.A., Fernández-López J. Tomato and tomato by-products. Human health benefits of lycopene and its application to meat products: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2014;54(8):1032-1049. DOI 10.1080/10408398.2011.623799.
- Wang D., Seymour G.B. Tomato flavor: Lost and found? *Mol. Plant*. 2017;10(6):782-784. DOI 10.1016/j.molp.2017.04.010.
- Wei M.Y., Giovannucci E.L. Lycopene, tomato products, and prostate cancer incidence: a review and reassessment in the PSA screening era. *J. Oncol.* 2012;2012:271063. DOI 10.1155/2012/271063.
- Zanfini A., Corbini G., Rosa C.L., Dreassi E. Antioxidant activity of tomato lipophilic extracts and interactions between carotenoids and α -tocopherol in synthetic mixtures. *Food Sci. Technol.* 2010;1(43):67-72. DOI 10.1016/j.lwt.2009.06.011.
- Zhang Y., Butelli E., Alseikh S., Tohge T., Rallapalli G., Luo J., Kwar P.G., Hill L., Santino A., Fernie A.R., Martin C. Multi-level engineering facilitates the production of phenylpropanoid compounds in tomato. *Nat. Commun.* 2015;6:8635. DOI 10.1038/ncomms9635.

ORCID ID

A.B. Kurina orcid.org/0000-0002-3197-4751
A.E. Solovieva orcid.org/0000-0002-6201-4294
A.M. Artemyeva orcid.org/0000-0002-6551-5203

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и БРФФИ в рамках научного проекта № 20-516-00017.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 19.02.2021. После доработки 30.03.2021. Принята к публикации 02.04.2021.