

Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-6-11-16>
УДК 635.64:581.175.11:001.8

Е.А. Джос^{1,2*}, М.И. Мамедов¹,
О.Н. Пышная¹, Н.А. Голубкина¹,
О.В. Верба¹, А.А. Матюкина¹

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

² Федеральный исследовательский центр "Фундаментальные основы биотехнологии" Российской академии наук Москва, Россия

*Автор для переписки: elenadzhos@mail.ru

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ 19-16-00016 и Министерства науки и высшего образования РФ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы участвовали в написании статьи, прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Для цитирования: Джос Е.А., Мамедов М.И., Пышная О.Н., Голубкина Н.А., Верба О.В., Матюкина А.А. Сравнительный анализ содержания антоцианов в различных образцах томата в связи с селекцией. *Овощи России*. 2022;(6):11-16. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-6-11-16>

Поступила в редакцию: 26.09.2022

Принята к печати: 27.10.2022

Опубликована: 02.12.2022

Elena A. Dzhos^{1,2*}, Mubaris I. Mamedov¹,
Olga N. Pyshnaya¹, Nadezhda A. Golubkina¹,
Olga V. Verba¹, Anna A. Matyukina¹

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" (FSBSI FSVC) 14, Seleccionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

² Federal Research Center Fundamentals of Biotechnology, Russian Academy of Sciences Moscow, Russia

*Correspondence Author: elenadzhos@mail.ru

Funding. The work was supported by the Russian Science Foundation (grant 19-16-00016) and the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Conflict of interest. The authors have no conflicts of interest to declare.

Author contributions: All authors confirm they have contributed to the intellectual content of this paper.

For citations: Dzhos E.A., Mamedov M.I., Pyshnaya O.N., Golubkina N.A., Verba O.V., Matyukina A.A. Comparative analysis of anthocyanin content in various tomato samples in connection with breeding. *Vegetable crops of Russia*. 2022;(6):11-16. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-6-11-16>

Received: 26.09.2022

Accepted for publication: 27.10.2022

Published: 02.12.2022

Сравнительный анализ содержания антоцианов в различных образцах томата в связи с селекцией



Резюме

Актуальность. Антоциановые пигменты могут синтезироваться в стебле, листьях, чашечке, кожуре и мякоти плодов томата. Эти соединения защищают фотосинтетический аппарат растения, нейтрализуют свободные радикалы, повышают эффективность усвоения фосфора и азота, обладают осморегулирующей функцией, антимикробной активностью, повышают уровень адаптации к неблагоприятным условиям окружающей среды. Кроме того, антоцианы, поступающие с растительной пищей, играют важную роль в профилактике сахарного диабета II типа, нейродегенеративных процессах, сердечно-сосудистых и инфекционных заболеваний. Поэтому выращивание томатов с антоциановой окраской плодов является перспективным направлением для отрасли овощеводства России. Овощная продукция, содержащая антиоксидантные вещества, относится к функциональным продуктам и отвечает концепции здорового питания. У томата, как одной из наиболее популярных и наиболее часто употребляемых в пищу овощных культур, повышение содержания антоцианов в плодах путем селекции является актуальным направлением. **Материал и методы.** В работе изучены селекционные образцы ФГБНУ ФНЦО: Л-Сн-365, Л-ИР-2080, Л-Земба, гибридная комбинация F₁ Земба x Л-Сн-365, сорт сибирского ботанического сада Bosare blue. Целью наших исследований являлось определение количественного состава фенольных соединений – антоцианов в различных образцах томата, и на их основе определение задач селекции по повышению содержания фенольных соединений.

Результаты. В результате проведенных исследований изучено количественное содержание антоцианов в плодах различных образцов томата, от которого зависит диетическое и лечебное качество плодов. Получены источники высокого содержания антоцианов (Л-Земба, Л-ИР-2080), что позволит вести направленную селекционную работу на высокое содержание фенольных соединений. Показано, что антоциановые образцы томата могут быть богаты каротиноидами, что дает возможность создавать новые сорта и гибриды с высоким содержанием водо- и жирорастворимых антиоксидантов. Выделены перспективные образцы для селекции по комплексу биохимических показателей: Л-Земба, Л-ИР-2080, Bosare blue. Показано, что отбор на высокое содержание антоцианов можно проводить на различных этапах созревания плодов (крупный зрелый плод, бланжевый, биологическая спелость), отбирая наиболее насыщенную окраску. Созданный в ФГБНУ ФНЦО сорт томата Земба имеет достаточно высокие показатели содержания антоцианов и рекомендуется для выращивания в производстве.

Ключевые слова: томат, антоциан, биохимические показатели, исходный материал, окраска плодов

Comparative analysis of anthocyanin content in various tomato samples in connection with breeding

Abstract

Relevance. Anthocyanin pigments can be synthesised in the stem, leaves, calyx, peel and pulp of tomato fruit. These compounds protect the photosynthetic apparatus of the plant, neutralise free radicals, increase the efficiency of phosphorus and nitrogen assimilation, have an osmoregulatory function, antimicrobial activity and increase the level of adaptation to unfavourable environmental conditions. In addition, anthocyanins from plant foods play an important role in the prevention of type II diabetes, neurodegenerative processes, cardiovascular and infectious diseases. Therefore, the cultivation of tomatoes with anthocyanin-coloured fruits is a perspective area for the vegetable industry in Russia. Vegetable products containing antioxidant substances belong to the functional products and conform to the concept of a healthy diet. As one of the most popular and frequently consumed vegetable crops, the anthocyanin content of tomato is advisable to increase in the fruit (peel and pulp).

Material and methods. In this work we studied breeding samples of FSBSI FSVC: L-Ch-365, L-IR-2080, L-Zemba, hybrid combination F₁ Zemba x L-Ch-365, variety of Siberian Botanical Garden Bosare blue. The aim of our research was to determine the quantitative composition of phenolic compounds - anthocyanins in different tomato samples, and on this basis to determine the objectives of breeding to improve the content of phenolic compounds.

Results. As a result of the research, the quantitative content of anthocyanins in fruits of different tomato specimens has been studied, on which the dietary and medicinal quality of the fruits depends. The sources of high content of anthocyanins (L-Zemba, L-IR-2080) have been obtained, which will make possible to conduct directed breeding work for high content of phenolic compounds. It has been shown that anthocyanin-rich tomato samples can be rich in carotenoids, which gives an opportunity to create new varieties and hybrids with high content of water- and fat-soluble antioxidants. Potential samples for breeding according to the complex of biochemical indicators have been identified: L-Zemba, L-IR-2080, Bosare blue. It has been shown that selection for high content of anthocyanins can be performed at various stages of fruit ripening (large ripe fruit, blanchetongue, biological ripeness), selecting the most intense colouring. The Zemba tomato variety developed at FSBSI FSVC has a sufficiently high anthocyanin content and is recommended for cultivation in production.

Keywords: tomato, anthocyanin, biochemical parameters, starting material, fruit coloring

Введение

Томат (*Solanum lycopersicum* L.) – наиболее популярная и наиболее часто употребляемая в пищу овощная культура. Он является источником биологически активных соединений, включая каротиноиды и полифенолы. Окраска плодов томата обусловлена наличием различных видов пигментов: хлорофиллов, каротиноидов и антоцианов и является одним из важных признаков, используемых в селекции. Традиционно, большинство сортов и гибридов томата имеют красные плоды различных оттенков. Также имеются формы с оранжевыми, желтыми, розовыми, белыми, пестрыми, черными и фиолетовыми плодами. Черная и фиолетовая окраска формируется за счет синтеза антоцианов в результате мутаций каротиноидов биосинтез или расщепление хлорофилла [1]. Антоцианы относятся к флавоноидам – многочисленной группе растительных пигментов фенольной природы. Антоцианы, принадлежащие к семейству флавоноидов, представляют собой группу природных пигментов, представленных более чем 700 различными молекулярными структурами, отвечающие за красно-синюю окраску многих плодов и овощей [2], обладающие сильными антиоксидантными свойствами [3]. Томаты с фиолетовой окраской содержат от 11 до 23 различных видов антоцианов, в том числе 3 антоцианидина (дельфинидин, петунидин и мальвидин), связанные с одними или несколькими молекулами глюкозы, рутинозы, п-кумаровой и кофейной кислот [4,5,6].

У томата антоцианы могут обуславливать окраску кожуры и мякоти плода, соцветий, чашелистиков, плодоножки, листьев и стеблей (от слабой до очень интенсивной). Окраска частей растения (лист, стебель) заслуживает особого внимания, поскольку это адаптивные признаки. Так, антоцианы участвуют в защите фотосинтетического аппарата и цитоплазматической мембраны клетки, нейтрализуют свободные радикалы, предохраняя от их неблагоприятного воздействия, повышают эффективность усвоения фосфора и азота, позволяют растениям приспособиться к неблагоприятным условиям — избыточному УФ-излучению, засухе, экстремальным температурам [7].

Многочисленные исследования *in vitro* и *in vivo* предполагают, что антоцианы обладают свойствами, способствующими укреплению здоровья и могут играть важную роль в снижении хронических и дегенеративных заболеваний [8,9].

Известно, что антоцианы, поступающие с растительной пищей, могут предупреждать сердечно-сосудистые заболевания, сахарный диабет II типа, артрит, ожирение, патологии зрения, различные виды рака, обладают противовоспалительным действием [10,11,12]. Эти соединения обладают обширной биологической активностью, способны проникать в мозг и модулировать его функции. При нейродегенеративных процессах антоцианы способствуют выживаемости нейронов. Механизмы нейропротекторного действия антоцианов связаны с их антиоксидантной, противовоспалительной, антиоксидантной и антиапоптотической активностью. Способность антоцианов воздействовать сразу на множество терапевтических мишеней делает их полезными для профилактики и лечения начальных стадий нейродегенеративных заболеваний [13].

Имеются сведения, что сорта томата с высоким содержанием антоцианов в плодах дольше хранятся и меньше поражаются серой гнилью (*Botrytis cinerea*) [14,15].

Изучение окраски у растений представляет интерес и в силу влияния пигментных соединений на вкусовые каче-

ства употребляемых растительных продуктов. Важной особенностью таких образцов является сочетание содержания в плодах гидрофильных антоцианов и липофильных каротиноидов (γ -, β -каротин, ликопин, фитон, неуроспорин, неоликопин), что увеличивает их антиоксидантную активность.

А в связи с развитием производства продуктов функционального действия, обеспечивающих доступность потребителя ценными биологически активными нутриентами, селекция на создание сортов и гибридов с антоциановой окраской плодов является актуальной задачей.

Цель наших исследований: определение количественного состава фенольных соединений – антоцианов в различных образцах томата, и на их основе определение задач селекции по повышению содержания фенольных соединений.

Материал и методы

В работе изучены селекционные образцы ФГБНУ ФНЦО:Л-Сh-365, Л-IR-2080, Л-Земба, гибридная комбинация F₁ Земба x Л-Сh-365, сорт сибирского ботанического сада Bosare blue. Растения томата выращивали в условиях пленочных необогреваемых теплиц. Агротехника общепринятая. Окраску плодов определяли по шкале Бондарцева [16]. Для биохимического анализа использовали образцы, визуально различающиеся по интенсивности фиолетовой окраски. Плоды собирали с одного яруса растений в фазе технической и биологической спелости. Методы определения биохимических показателей:

Содержание сухого вещества

Содержание сухого вещества определяли гравиметрически после высушивания образцов при 50°C до постоянной массы [17].

Аскорбиновая кислота

Содержание аскорбиновой кислоты устанавливали методом визуального титрования 2,6-дихлорфенол индофенолятом натрия (реактивом Тиллманса) [18].

Полифенолы

Содержание полифенолов определяли спектрофотометрически с помощью реактива Фолина-Чиокалтеу [18]. 1 г гомогената томатов экстрагировали в течение часа при 80°C 20 мл 70% этанола. Раствор охлаждали до комнатной температуры, переносили количественно в 25 мл мерную колбу и доводили до метки 70% спиртом. Полученный экстракт перемешивали и фильтровали через складчатый фильтр. В мерную колбу на 25 мл добавляли 1 мл экстракта, 2,5 мл насыщенного раствора карбоната натрия Na₂CO₃ и 0,25 мл разбавленного вдвое дистиллированной водой реактива Фолина-Чиокалтеу. Полученную смесь после интенсивного перемешивания доводили до метки дистиллированной водой. Через час после окончания реакции измеряли показатель поглощения раствора при 730 нм на спектрофотометре Unico 2804 UV (США). Содержание полифенолов рассчитывали по стандартной кривой, полученной с использованием 6 растворов галловой кислоты (Sigma) в интервале концентрации 0-90 мг/мл. Результаты определения выражали в мг-экв галловой кислоты/г сухой массы (мг ГКЭ/г с.м.).

Антиоксидантная активность (АОА)

Для определения антиоксидантной активности использовали колориметрический метод [17], основанный на титровании раствора 0.01 N KMnO₄ в кислой среде этанольным экстрактом томатов до обесцвечивания, свиде-

тельствующего о полном восстановлении Mn^{+6} до Mn^{+2} . В качестве внешнего стандарта использовали галловую кислоту. Результаты определения выражали в мг-экв галловой кислоты/г сухой массы (мг ГКЭ/г с.м.).

Нитраты

Уровень нитратов регистрировали в водных экстрактах с применением ион селективного электрода на иономере Эксперт 001 (Эконикс, Россия).

Моносахара

Содержание моносахаров определяли феррицианидным методом [20].

Содержание каротиноидов

Содержание каротиноидов устанавливали спектрофотометрически [18]. Полграмма гомогената томатов экстрагировали в фарфоровой ступке ацетоном (3x1.3 мл). К объединенному экстракту добавляли 9 мл гексана и полученный раствор промывали дистиллированной водой до полного удаления запаха ацетона (4x30 мл). Гексановый экстракт переносили количественно в пикнометр на 10 мл и доводили до метки гексаном. Раствор фильтровали через слой безводного сульфата натрия и использовали для хроматографического разделения каротиноидов на хроматографической бумаге Ватман 3А в системе гексан-ацетон, 10:0.5 и элюирования чистых каротиноидов с хроматографической пластинки смесью гексан: ацетон, 3:0.5. Для расчета содержания β -каротина, ликопина и лютеина использовали показатели удельного поглощения: $E_{1\%1\text{ см}}$ для β -каротина (2580 при $\lambda = 450$ нм), ликопина (3470 при $\lambda = 474$ нм) и лютеина (2560; $\lambda = 447$ нм). В качестве внутренних стандартов использовали образцы β -каротина, лютеина и ликопина производства Sigma Inc. (Japan).

Содержание антоцианов

Содержание антоцианов определяли прямым спектрофотометрическим методом по величине поглощения при 550 нм экстракта образцов в 1% HCl [18]. Один грамм гомогената кожуры томатов растирали в фарфоровой ступке с 10 мл 1% соляной кислоты. Полученную смесь фильтровали через складчатый фильтр и определяли величину поглощения полученного раствора при 550 нм. Содержание суммы антоцианов в пересчете на цианидин-3,5-дигликозид в абсолютно сухом сырье в процентах (X) вычисляли по формуле

$$X = (D_{510} \times V \times 100) : 453 m,$$

где D – оптическая плотность испытуемого раствора;

V – общий,

453 — удельный показатель поглощения цианидин-3,5-дигликозида в 1% растворе соляной кислоты;

m — масса сырья в граммах.

В селекционной работе руководствовались методическими рекомендациями по селекции томата (1986) [20]. Сахаро-кислотный индекс плодов определяли отношением сахара к кислоте. Гармоничное сочетание сахаров и кислоты обуславливает вкус и качество плодов томата. Оптимальное отношение сахара и кислоты (сахарокислотный индекс) должно находиться в пределах 6-8 единиц [21]. Дегустационная комиссия оценивала плоды по 5 бальной шкале.

Статистика

Статистическую обработку результатов осуществляли с использованием статистической программы Excel

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ литературных данных показывает, что на протяжении многих лет имеется интерес к селекции томата на повышенное содержание антоцианов. Проводится она во многих странах мира различными методами. В США селекционер Джим Майерс с коллегами использовали межвидовые гибриды между *Solanum chilense* и *S. cheesmaniae*, добившись резкого увеличения экспрессии пигмента. Результатом этой работы стало создание сорта Индиго Роуз, который содержит от 10 до 30 мг антоцианов на 100 г свежих плодов. В настоящее время в Соединенных Штатах имеется более 20 коммерческих сортов с фиолетовой окраской плодов, большинство из которых выведены из оригинальных линий, созданных Майерсом [23]. Для получения сортов и гибридов томата с фиолетовой окраской плодов использовались и трансгенные подходы для модификации биосинтеза фенолпропаноидов [24]. Для повышения уровня флавоноидов в плодах экспрессировали гены факторов транскрипции кукурузы LC и C1 в плодах генетически модифицированных растений томата, что способствовало их накоплению в мякоти плодов, где обычно не продуцируются флавоноиды [25]. Также экспрессировали два фактора транскрипции из львиного зева в томат, плоды растений накапливали антоцианы на уровнях сопоставимых с уровнями антоцианов, обнаруженными в ежевике и чернике [25]. Однако, несмотря на значительный успех в увеличении содержания флавоноидов путем трансгенеза, последние 15 лет наблюдается растущий интерес к селекции томата с высоким содержанием флавоноидов без ГМО [27].

В ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» селекция томата на повышенное содержание антоцианов в плодах проводится классическими традиционными методами. При создании нового сорта учитываются потребности рынка, которые реализуются в виде селекционных моделей создаваемых сортов и гибридов. В данной селекционной программе стоит задача создания гибридов томата с высоким содержанием антоцианов.

Биохимический состав плодов томата зависит от многих факторов: условий выращивания, агротехники, степени зрелости плодов, но основным фактором является генотип. Проведенные исследования показывают, что между изучаемыми образцами томата имеются значительные различия, как по морфологическим признакам, так и по биохимическим показателям (табл. 1, 2). Растения различались по габитусу, антоциановой окраске листа, венчика соцветия, плодоножки и плода. Ткани стебля и листа у образцов с антоциановыми плодами имели более темную окраску по сравнению с образцами красноокрашенными. При проведении опытов было отмечено, что плоды томата достаточно быстро синтезируют антоцианы под действием света, что подтверждается их интенсивной окраской как в бланжевой (технической) спелости, так и при полном созревании. Антоцианин отсутствовал в областях, затененных чашечкой, наиболее интенсивная окраска была в кожуре и околоплодниковых тканях под ней. Внутренняя часть плода не содержала видимого антоцианина.

Таблица 1. Тип растения и присутствие антоциановой окраски на частях растения (2021-2022 годы)
Table 1. The type of plant and the presence of anthocyanin coloration on parts of the plant (2021-2022)

Образец	Растение	Окраска					
		лист	чашечка	кожуры плода		мякоти плода	
				бланжевая спелость	биологическая спелость	бланжевая спелость	биологическая спелость
Земба	индетерминантное, стебель с антоцианом	тёмно-зелёный с сильным антоцианом	средний антоциан	насыщенно фиолетовая с желтизной	фиолетово-красная	желтовато-зеленоватая	красно-коричневая
Л-Ch-365	индетерминантное, стебель с антоцианом	тёмно-зелёный с сильным антоцианом	средний антоциан	фиолетовая	фиолетово-красная	желтовато-зеленоватая	темно-красная
F ₁ Земба x Л-Ch-365	индетерм., стебель с антоцианом	тёмно-зелёный с сильным антоцианом	средний антоциан	темно фиолетовая	фиолетово-красная	желтовато-зеленоватая	темно-красная
Л-IR-2080	индетерминантное, стебель с небольшим антоцианом	тёмно-зелёный с небольшим антоцианом	сильный антоциан	желтовато-фиолетовая	коричнево-красная	желтовато-зеленоватая	розово-коричневая
Bosare blue	индетерминантное, стебель с небольшим антоцианом	зеленый с небольшим антоцианом	слабый антоциан	фиолетово-сиреневая	фиолетово-красная	желтовато-зеленоватая	розово-коричневая

Все изучаемые образцы различались по содержанию антоцианов в кожуре плода, общее их накопление регистрировалось в пределах 6,1-16,3 мг/100 г. Наибольшее содержание антоциана отмечено у Л-Земба (16,3), так как отбор по интенсивности окраски плодов проводился на протяжении 5 лет. У гибрида с участием этой линии F₁ Земба x Л-Ch-365 (15,1) также отмечено высокое содержание антоцианов, что свидетельствует о перспективности селекции на данный признак. В целом, несмотря на известные значительные вариации в накоплении антоцианов черными томатами, результаты настоящего исследования находятся в хорошем соответствии с известными литературными данными [14, 28]. Генетические особенности биосинтеза антоцианов в плодах томата являются темой отдельного исследования. У изученного материала выявлена фенотипическая зависимость между окраской плодов и содержанием антоцианов в кожуре, что можно

использовать при селекционном отборе. Важной особенностью таких плодов является сочетание в них наряду с антоцианами липофильных каротиноидов (β -каротин, ликопин и др.), что существенно усиливает эффективность их совместной антиоксидантной активности. Более высокое содержание ликопина отмечено у образцов с менее интенсивной окраской плода: Л-IR-2080 (11,6 мг/г) и Bosare blue (9,0 мг/г), у этих образцов и наибольшая сумма каротиноидов. Содержание аскорбиновой кислоты в плодах не зависело от интенсивности антоциановой окраски плода. Наиболее высокое содержание отмечено в образцах Bosare blue, Л-IR-2080. Все биохимические показатели по содержанию биологически активных веществ влияют на общую антиоксидантную способность. Наиболее высокая общая антиоксидантная активность отмечена у сорта Bosare blue (1,5 мг-экв ГК/г с.м.) и гибридной комбинации F₁ Земба x Л-Ch-365 (1,47 мг-экв ГК/г с.м.)

Таблица 2. Биохимические показатели изучаемых образцов
Table 2. Biochemical parameters of the studied samples

Показатели	Л-Земба	Л-Ch- 365	F ₁ Земба x Л-Ch-365	Л-IR-2080	Bosare blue
Сухое вещество, %	9,6±0,1ab	6,0±0,6c	8,15±0,8b	9,7±0,9 ab	11,0±1,1a
Антоцианы, мг/100 г	16,3±1,6a	10,3±1,0b	15,1±1,5a	13,5±1,4a	6,1±0,6c
Нитраты, мг/кг	153±15a	105±10b	135±14a	70±7c	154±15a
Сахара, %	4,9±0,5b	2,5±0,2c	4,2±0,4b	4,9±0,5b	6,2±0,6a
АОА*	1,38±0,1b	1,07±0,1c	1,47±0,1ab	1,34±0,1b	1,50±0,2a
ТР*	1,31±0,1a	0,85±0,1b	1,22±0,1a	1,23±0,1a	1,36±0,1a
АК**	31,6±3,2b	22,6±2,3c	30,1±3,0b	35,8±3,6ab	39,9±4,0a
β -каротин***	0,52±0,05bc	0,56±0,05bc	0,46±0,05c	0,74±0,07a	0,50±0,05b
Ликопин***	4,6±0,5d	5,4±0,5d	7,1±0,7c	11,6±1,2a	9,0±0,9b
Лютеин***	1,7±0,2ab	2,0±0,2a	1,9±0,2a	1,6±0,2b	1,5±0,1b
Сумма каротиноидов	6,82±0,7d	7,96±0,8cd	9,46±0,9c	13,94±1,4a	11,00±1,1b

*мг-экв ГК/г с.м., ** мг/100 г сырой массы*** мг/г

Значения в рядах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $p < 0.05$

Таблица 3. Изменение содержания антоцианов в процессе созревания плодов
Table 3. Changes in the content of anthocyanins during fruit ripening

Сортообразец / стадия созревания	Линия L-IR			Земба		
	крупный сформированный плод	бланжевый	биологическая спелость	крупный сформированный плод	бланжевый	биологическая спелость
Окраска плода	темно-фиолетовая	желтовато-фиолетовая	коричнево-красная	зеленовато-фиолетовая	насыщенно фиолетовая с желтизной	фиолетово-красная
Антоцианы, мг/100 г	9,24±0,9b	6,30±0,6c	8,54±0,8b	5,96±0,6c	11,47±1,1a	10,26±1,0ab
Антоцианы, мг/100 г сухого вещества	88±8,8b	64,3±6,4c	90,8±9,0ab	54,2±5,4c	107,2±10,7a	95,0±9,5ab

Значения в рядах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $p < 0.05$

Учитывая важность признака антоциановой окраски плодов необходимо провести поиск возможных взаимосвязей чтобы на ранних этапах онтогенеза провести селекционные отборы на повышенное содержание пигментных веществ фенольной природы.

Учитывая тот факт, что сорта с антоциановой окраской в основном выращиваются в защищенном грунте, где сбор плодов чаще проводят в стадии крупного зеленого или бланжевого плода для лучшего хранения и транспортировки, изучение изменения содержания биологически активных веществ, в том числе и антоцианов, на разных стадиях формирования и созревания плодов важно при селекции. А поиск источников и создание исходного материала с высокими показателями антоцианов на разных стадиях созревания от зеленого, бланжевого до биологической спелости имеет важное значение для селекции. Для решения этой задачи в нашей работе проведено изучение содержания антоцианов в динамике от формирования крупного плода до полного созревания. Полученные результаты свидетельствуют, что отбор на высокое содержание можно проводить на различных этапах созревания плодов, отбирая наиболее насыщенную окраску (табл.3). А сбор плодов в тепличных комбинатах в стадии крупного сформированного или бланжевого плода не снизит качество полученной продукции, так как содержание антоцианов на данных стадиях развития находилось в пределах ошибки опыта или несколько отличалось от показателей биологической спелости. Созданный в ФНЦО сорт Земба имел достаточно высокие показатели содержания антоцианов.

Для оценки вкусовых качеств плодов, на основании результатов анализа, были рассчитаны сахаро-кислотные индексы,

Таблица 4. Сахаро-кислотный индекс и дегустационная оценка плодов томата
Table 4. Sugar-acid index and tasting evaluation of tomato fruits

Сортообразец	Сахаро-кислотный индекс	Дегустационная оценка
Л-Земба	8,8	4,8
Л-Ch- 365	7,2	4,5
F1 Земба x Л-Ch-365	7,5	4,6
Л-IR-2080	8,5	4,6
Bosare blue	9,1	5,0

а также проведена дегустационная оценка плодов изучаемых образцов (табл.4). Сахаро-кислотный индекс плодов определяли отношением сахара к кислоте. Дегустационная комиссия оценивала плоды по 5 бальной шкале.

По результатам анализа и органолептической оценки лучшими вкусовыми качествами обладали образцы: Bosare blue, Л-Земба. Их можно рекомендовать для использования в качестве исходного материала для селекции.



Рис. 1. Сорт томата Земба
Fig. 1. Tomato variety Zemba

Закключение

В результате проведенных исследований изучено количественное содержание антоцианов в плодах различных образцов томата, от которого зависит диетическое и лечебное качество плодов. Определены источники высокого содержания антоцианов (Л-Земба, Л-IR-2080), что позволит вести направленную селекционную работу на высокое содержание фенольных соединений. Показано, что антоциановые образцы томата могут быть богаты каротиноидами, что дает возможность создавать новые сорта и гибриды с высоким содержанием водо- и жирорастворимых антиоксидантов. Выделены перспективные образцы для селекции по комплексу биохимических показателей: Л-Земба, Л-IR-2080, Bosare blue.

Об авторах:

Елена Алексеевна Джос – кандидат с.-х. наук, зав. лаб. селекции и семеноводства пасленовых культур, автор для переписки, elenadzhos@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2216-0094>

Ольга Николаевна Пышная – доктор с.-х. наук, pishnaya_o@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9744-2443>

Мубариз Иса оглы Мамедов – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник

Надежда Александровна Голубкина – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела, segolubkina45@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>

Ольга Владимировна Верба – кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, verbaov@mail.ru

Анна Алексеевна Матюкина – научный сотрудник

About the Authors:

Elena A. Dzhos – Cand. Sci. (Agriculture), Correspondence Author, elenadzhos@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2216-0094>

Olga N. Pyshnaya – Doc. Sci. (Agriculture), pishnaya_o@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9744-2443>

Mubaris I. Mamedov – Doc. Sci. (Agriculture), Chief Scientific Officer

Nadezhda A. Golubkina – Doc. Sci. (Agriculture), leading researcher of laboratory-analytical department, segolubkina45@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>

Olga V. Verba – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, verbaov@mail.ru

Anna A. Matyukina – Senior Researcher

• **Литература / References**

- Mes P.J., Boches P., Myers J.R., Durst R. Characterization of tomatoes expressing anthocyanins in the fruit. *J Am Soc Hort Sci.* 2008;(133):262–9. DOI: 10.21273/JASHS.133.2.262.
- Andersen M., Jordheim M. Basic anthocyanin chemistry and dietary sources. In: Wallace TC, Giusti M.M, editors. *Anthocyanins in Health and Disease*. Boca Raton, FL: CRC Press; Taylor & Francis Group. 2014. p. 13–90. DOI: 10.1201/b15554-3.
- Wu X. Antioxidant activities of anthocyanins. In: Wallace TC, Giusti MM, editors. *Anthocyanins in Health and Disease*. Boca Raton, FL: CRC Press; Taylor & Francis Group. 2014. p. 141–64. DOI: 10.1201/b15554-6.
- Ooe E., Ogawa K., Horiuchi T., et al. 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.
- Wang Y., Luo Z., Lu C., et al. Transcriptome profiles reveal new regulatory factors of anthocyanin accumulation in a novel purple-colored cherry tomato cultivar Jinling Moyu. *Plant Growth Regulation.* 2019;87(1):9–18. DOI: 10.1007/s10725-018-0444-y.
- 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.
- Khlestkina E. The adaptive role of flavonoids: emphasis on cereals. *Cereal Res. Commun.* 2013;41(2):185–198. DOI: 10.1556/CRC.2013.0004.
- Achterfeldt S., Traka M., Martin C., Vauzour D., and Kroon P. A. Do anthocyanins in purple tomatoes reduce the risk of cardiovascular disease? *Proc. Nutr. Soc.* 2015;(74):E85. DOI: 10.1017/S0029665115001007.
- Charepalli V., Reddivari L., Radhakrishnan S., Vadde R., Agarwal, R., Vanamala J.K. Anthocyanin-containing purple-fleshed potatoes suppress colon tumorigenesis via elimination of colon cancer stem cells. *J. Nutr. Biochem.* 2015;(26):1641–1649. DOI:10.1016/j.jnutbio.2015.08.005.
- Howard B.V., Kritchevsky D., Nutrition Committee. Phytochemicals and cardiovascular disease a statement for healthcare professionals from the American heart association. *Circulation.* 1997;95(11):2591–2593. DOI:10.1161/01.CIR.95.11.2591.
- Sancho R.A.S., Pastore G.M. Evaluation of the effects of anthocyanins in type 2 diabetes. *Food Res. Int.* 2012;46(1):378–386.
- Lila M.A. Anthocyanins and human health: an *in vitro* investigative approach. *BioMed Research International.* 2004;2004(5):306–313. DOI:10.1155/S111072430404041X.
- Катасонов А.Б. Антоцианы для профилактики и лечения нейродегенеративных заболеваний. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2022;122(4):16–22. DOI:10.17116/jnevro202212204116. [Katasonov A.B. Anthocyanins for the prevention and treatment of neurodegenerative diseases. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. Zhurnal nevrologii i psikhatrii imeni S.S. Korsakova.* 2022;122(4):16–22. (In Russ.). DOI:10.17116/jnevro202212204116].
- Bassolino L., Zhang Y., Schoonbeek H.J., et al. Accumulation of anthocyanins in tomato skin extends shelf life. *New Phytologist.* 2013;200(3):650–655. DOI: 10.1111/nph.12524
- Zhang Y., Butelli E., De Stefano R., et al. Anthocyanins double the shelf life of tomatoes by delaying overripening and reducing susceptibility to gray mold. *Curr. Biol.* 2013;23(12):1094–1100. DOI: 10.1016/j.cub.2013.04.072.

- Бондарцев А.С. Шкала цветов. Пособие для биологов при научных и прикладных исследованиях. Издательство Академии наук СССР. 1954. 29 с. [Bondartsev A.S. Scale of colors. Handbook for biologists in scientific and applied research. Publishing House of the USSR Academy of Sciences. 1954. P 29. (In Russ.).]
- ГОСТ 31640-2012 Межгосударственный стандарт «Корма. Методы определения содержания сухого вещества». ["Feeds. Methods for determination of dry matter content". (In Russ.).]
- Голубкина Н.А., Кекина Е.Г., Молчанова А.В., Антошкина М.С., Надежин С.М., Солдатенко А.В. Антиоксиданты растений и методы их определения. М., Инфра-М. 2020. [Golubkina N.A., Kekina H.G., Molchanova A.V., Antoshkina M.S., Nadezhkin S.M., Soldatenko A.V. Antioxidants of plants and methods of their determination. М., Infra-M. 2020. (In Russ.).]
- Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods of Enzymology.* 1987;(148):350–382. doi:10.1016/0076-6879(87)48036-1
- Кидин В.В. Практикум по агрохимии, М. Колос 2012. [Kidin V.V. Workshop on agrochemistry, M. Kolos 2012. (In Russ.).]
- Кондратьева И.Ю. Частная селекция томата: детерминантные формы томата (*Lycopersicon esculentum* L. var. *vulgare* Brezh., var. *validum* Brezh.) для открытого грунта. ГНУ "Всероссийский науч.-исслед. ин-т селекции и семеноводства овощных культур" Российской акад. с.-х. наук. Москва. Изд-во ВНИИССОК. 2010; ISBN 978-5-901695-38-8. EDN QLBHTZ. [Kondratieva I.Y. Private tomato breeding: determinant forms of tomato (*Lycopersicon esculentum* L. var. *vulgare* Brezh., var. *validum* Brezh.) for open ground. GNU "All-Russian Scientific research Institute of Breeding and seed production of vegetable crops" of the Russian Academy of Agricultural Sciences. Moscow. VNIIS-SOK. 2010; ISBN 978-5-901695-38-8. EDN QLBHTZ. (In Russ.).]
- Методические указания по селекции сортов и гибридов томата для открытого и защищенного грунта. Москва. 1986. [Methodological guidelines for the selection of tomato varieties and hybrids for open and protected ground. Moscow. 1986. (In Russ.).]
- Gruber K. Agrobiodiversity: The living library. *Nature.* 2017;544(7651):S8–S10.
- Su X., Xu, J., Rhodes, D., et al. Identification and quantification of anthocyanins in transgenic purple tomato. *Food Chemistry.* 2016;(202):184–188. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.01.128.
- Bovy A.G., de Vos R., Kemper M., Schijlen EGWM, Almenar Pertejo M, Muir S, et al. High flavonol tomatoes resulting from the heterologous expression of the maize transcription factor genes LC and C1. *Plant Cell.* 2002;(14):2509–26. doi: 10.1105/tpc.004218.
- Butelli E., Titta L., Giorgio M., Mock H-P, Matros A., Peterek S., et al. Enrichment of tomato fruit with health-promoting anthocyanins by expression of select transcription factors. *Nature Biotechnol.* 2008;(26):1301–8. doi: 10.1038/nbt.1506.
- Willits M.G., Kramer C.M., Prata RTN, De Luca V., Potter B.G., Steffens J.C., et al. Utilization of the genetic resources of wild species to create a nontransgenic high flavonoid tomato. *J Agric Food Chem.* 2005;(53):1231–6. doi: 10.1021/jf049355i.
- Blando F., Berland H., Maiorano G., Durante M., Mazzucato A., Picarella M.E., Nicoletti I., Gerardi C., Mita G. and Andersen Ø.M. Nutraceutical Characterization of Anthocyanin-Rich Fruits Produced by "Sun Black" Tomato Line. *Front.Nutr.* 2019;(6):133.doi:10.3389/fnut.2019.00133.