

Взаимосвязь биохимического состава и окраски мякоти плодов томатов (*Solanum lycopersicum* L.): сравнительный анализ розовоплодных и красноплодных гибридов F₁ с интенсивной окраской мякоти в условиях пленочных теплиц юга России

Correlation between biochemical composition and flesh color of tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.): comparative analysis of pink and red-fruited F₁ hybrids with intense flesh color in conditions of film greenhouses of Southern Russia

Гавриш С.Ф., Редичкина Т.А., Схинас М.С.,
Сушкова А.А.

Gavrish S.F., Redichkina T.A., Skhinas M.S., Sushkova A.A.

Аннотация

В статье представлены результаты исследования закономерностей формирования окраски мякоти плодов томата (*Solanum lycopersicum* L.) у гибридов F₁ розовоплодных и красноплодных форм, а также анализ взаимосвязи интенсивности цвета с содержанием ключевых биохимических компонентов: сухого вещества, сахара, органических кислот, β-каротина и ликопина. Исследование проведено на базе Крымского селекционного центра НПО «Гавриш» (Краснодарский край) в условиях необогреваемых плёночных теплиц. Объектом изучения стали гибриды F₁ томата, созданные на основе селекционного материала ООО «НПО Гавриш», с контрольными образцами: Bountice (красноплодный) и Пинк Айди (розовоплодный). Оценку интенсивности окраски мякоти проводили визуально (по шкале от 1 до 3 баллов) и инструментально с помощью колориметра Линшан (показатель интенсивности окраски мякоти a/b). Установлено, что колориметрический показатель a/b у розовоплодных гибридов в среднем выше (7,9), чем у красноплодных (6,5). Для розовоплодных гибридов выявлены сильная положительная корреляция между колориметрической оценкой интенсивности цвета (a/b) и содержанием сухого вещества ($r_p = 0,78$; $p < 0,001$) и статистически значимая корреляция высокой силы — с β-каротином ($r_p = 0,88$; $p < 0,001$). Для красноплодных гибридов характерна выраженная связь интенсивности мякоти (a/b) с сухим веществом ($r_s = 0,65$; $p < 0,01$) и умеренная — с ликопином ($r_s = 0,45$; $p < 0,05$). Общая кислотность в обеих группах показала слабую отрицательную корреляцию с интенсивностью окраски мякоти. Выделены перспективные гибриды с интенсивной окраской мякоти: розовоплодные F₁ к-3857/23 и F₁ к-3854/23 (a/b = 8,7) с высоким содержанием β-каротина (3,6 мг/100 г и 3,4 мг/100 г) и ликопина (9,4 мг/100 г и 9,2 мг/100 г), а также красноплодный к-4146/23 (a/b = 7,1) с максимальным содержанием ликопина (14,5 мг/100 г).

Ключевые слова: томаты, каротиноиды, ликопин, β-каротин, биохимический состав, колориметрия, селекция, гибриды F₁.

Для цитирования: Взаимосвязь биохимического состава и окраски мякоти плодов томатов (*Solanum lycopersicum* L.): сравнительный анализ розовоплодных и красноплодных гибридов F₁ с интенсивной окраской мякоти в условиях пленочных теплиц юга России / С.Ф. Гавриш, Т.А. Редичкина, М.С. Схинас, А.А. Сушкова // Картофель и овощи. №5. С. 54–60. [//doi.org/10.25630/PAV.2026.19.38.008](https://doi.org/10.25630/PAV.2026.19.38.008)

Abstract

The article presents the results of a study on the patterns of flesh color formation in tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.) among F₁ hybrids of pink-fruited and red-fruited forms, as well as an analysis of the relationship between color intensity and the content of key biochemical components: soluble solids, sugars, organic acids, β-carotene, and lycopene. The research was conducted at the Crimean Breeding Center of the Scientific and Production Association “Gavrish” (Krasnodar Krai) in unheated film greenhouses during 2023–2024. The study focused on F₁ hybrids developed from breeding material provided by LLC “NPO Gavrish”, with control samples including the red-fruited cultivar Bountice and the pink-fruited cultivar Pink Idee. Flesh color intensity was assessed both visually (using a 1–3 score scale) and instrumentally using a Linshan colorimeter (a/b ratio). It was found that the colorimetric a/b ratio in pink-fruited hybrids was on average higher (7.9) than in red-fruited ones (6.5). For pink-fruited hybrids, a high positive correlation was identified between the colorimetric a/b value (reflecting red-to-yellow chromatic component ratio) and the content of soluble solids ($r_p = 0.78$; $p < 0.001$), as well as a statistically significant high positive correlation with β-carotene content ($r_p = 0.88$; $p < 0.001$). In red-fruited hybrids, the correlations were weaker: a moderate positive correlation between a/b and soluble solids ($r_s = 0.65$; $p < 0.01$) and a weak positive correlation with lycopene ($r_s = 0.45$; $p < 0.05$). Total acidity in both groups showed a weak negative correlation with color intensity (a/b). Promising hybrids were identified: pink-fruited F₁ k-3857/23 and F₁ k-3854/23 (a/b = 8.7), with high levels of β-carotene (3.6 mg/100 g and 3.4 mg/100 g) and lycopene (9.4 mg/100 g and 9.2 mg/100 g); red-fruited F₁ k-4146/23 (a/b = 7.1), with the highest lycopene content (14.5 mg/100 g).

Keywords: tomatoes, carotenoids, lycopene, β-carotene, biochemical composition, colorimetry, breeding, F₁ hybrids.

For citing: Correlation between biochemical composition and flesh color of tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.): comparative analysis of pink and red-fruited F₁ hybrids with intense flesh color in conditions of film greenhouses of Southern Russia. Gavrish S.F., Redichkina T.A., Skhinas M.S., Sushkova A.A. Potato and vegetables. No5. 2025. Pp. 54–60. <https://doi.org/10.25630/PAV.2026.19.38.008>. (In Russ.).

Томат (*Solanum lycopersicum* L.) занимает одно из ведущих мест среди овощных культур по объему производства и потреблению в мире [1]. Его плоды высоко ценятся не только за вкусовые качества, но и за уникальный биохимический состав, который определяет их пищевую ценность [2].

Для томата цвет плодов служит надежным маркером зрелости, а цвет мякоти — индикатором качества. Интенсивная окраска мякоти напрямую связана с улучшенным вкусом и выраженной антиоксидантной защитой — как самого плода, так и организма человека при его употреблении [3, 4].

Цвет плодов томата определяется содержанием пластидных пигментов, главным образом каротиноидов — ликопина и β -каротина, вклад которых в формирование красного, розового, желтого или оранжевого оттенка является основополагающим [5]. Ликопин, по данным Dumas и соавт. (2003), составляет до 80–95% общих каротиноидов зрелых красноплодных томатов, тогда как β -каротин обычно присутствует в меньших количествах — не более 10% [4]. Процесс созревания сопровождается снижением концентрации хлорофилла и активным синтезом каротиноидных пигментов, что приводит к выраженной смене цвета мякоти от зеленого к насыщенно-красному [5, 6]. Биосинтез каротиноидов контролируется комплексом генов, специфичных для гибрида и условий выращивания, что влияет на интенсивность окраски и уровень содержания биохимических компонентов [3, 7].

Интенсивность окраски плодов томата существенно связана с содержанием сухого вещества, сахаров и органических кислот [8]. Индекс спелости, определяемый соотношением сахаров и кислот, широко используется для комплексной оценки вкусовых характеристик и привлекательности продукта для потребителей [9]. Формирование вкуса свежего томата — многокомпонентный процесс, в котором участвуют растворимые сахара (глюкоза, фруктоза), органические кислоты (лимонная и яблочная), летучие ароматические соединения, а также текстура мякоти и визуальные особенности плода [10]. Современные исследования подчеркивают, что цвет мякоти томата также коррелирует с органолептическими свойствами и функциональной ценностью, выступая интегральным критерием селекционной работы [1, 4].

Тенденции селекции последних десятилетий обозначили заметный сдвиг приоритетов: от агрономически ориентированных характеристик, связанных с урожайностью, транспортабельностью и устойчивостью к болезням, к улучшению комплексных потребительских качеств плода [11, 12]. В условиях насыщенного рынка и повышенных требований к качеству свежей продукции, селекционные программы все чаще акцентируются на органолептических достоинствах, питательной и функциональной ценности томатов [13]. Особое внимание при этом уделяется гибридам для салатного сегмента, сочетающим насыщенный цвет, выраженный вкус и повышенное содержание биологически активных веществ [2, 12].

Исследование закономерностей формирования окраски мякоти плодов томата в гибридах красноплодных и розовоплодных форм F_1 , а также анализ взаимосвязи между интенсивностью цвета и содержанием ключевых биохимических компонентов (сухого вещества, сахаров, органических кис-

лот, ликопина и β -каротина) имеют важное значение для совершенствования селекционного процесса. Комплексная оценка этих параметров позволяет создавать гибриды, отвечающие современным требованиям к вкусовым качествам и функциональной ценности, что способствует развитию здорового питания и удовлетворению спроса рынка [1, 13].

Цель исследования — установление зависимости окраски мякоти плодов томата у гибридов розовоплодных и красноплодных форм от содержания ключевых биохимических компонентов (сухого вещества, сахаров, органических кислот, β -каротина и ликопина) в каждой группе.

Условия, материалы и методы исследований

Объектом исследования послужили розовоплодные и красноплодные F_1 гибриды томата (*Solanum lycopersicum* L. var. *lycopersicum*), созданные на базе селекционного материала ООО «НПО Гавриш» и выделенные в ходе оценки по комплексу фенотипических и генетических признаков (урожайность, форма и масса плода, устойчивости к заболеваниям и т.д.). В качестве контрольных гибридов F_1 использовали: для красноплодных — Bountice селекции De Ruiter Seeds, для розовоплодных — Пинк Айди селекции Seminis.

В ходе селекционной работы по созданию красноплодных и розовоплодных гибридов томата с насыщенной окраской мякоти из 86 изученных родительских линий выделили 18 наиболее перспективных — с высокой продуктивностью, устойчивостью к заболеваниям и оптимальными биометрическими показателями. Используя 23 образца в качестве доноров интенсивной окраски (как материнских, так и отцовских форм), удалось получить 43 гибрида F_1 , различающихся по окраске мякоти.

Исследования проводили на базе Крымского селекционного центре НПО «Гавриш», Крымский район Краснодарского края, в условиях, необогреваемых пленочных теплицах. Материал был отобран в 2022–2023 годах на участке первичного сортоиспытания на основе комплекса хозяйственно ценных признаков.

Томат выращивали через рассаду, которую в возрасте 30–32 суток высаживали в грунт теплицы в III декаде марта – I декаде апреля. Схема посадки ленточная двустрочная, (90+50) × 30 см. Однофакторный опыт был заложен в трех повторностях (по рекомендации для биологических исследований, обеспечивающих достаточную статистическую точность) по 12 растений на вариант; варианты были размещены в систематическом порядке. На 1 м² располагалось 2,5 растения, площадь учетной делянки — 3,6 м².

Эксперимент включал полевую и камеральную обработку материалов. Ботанико-морфологическое описание растений проводилось в соответствии с методическими указаниями Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (методические указания RTG/01/3 от 22.07.2002, № 12-06/52).

Биохимические параметры определяли в лабораторных условиях на кафедре физиологии и биохимии растений Кубанского ГАУ. Для анализа отбирали не менее 10 плодов в фазе биологической спелости на каждую повторность (тройная повторность измерений), что обеспечивает репрезентативность выборки и позволяет применять

методы статистики, основанные на нормальном распределении.

Методы определения биохимических показателей: сахаров — по Бертрону, ГОСТ 8756.13-87; растворимого сухого вещества — рефрактометрическим методом; общей кислотности в плодах томатов — по ГОСТ 25555.0-82 в пересчете на лимонную кислоту; β -каротина и ликопина — спектрофотометрическим методом (с указанием длин волн поглощения для каждого пигмента и расчетом концентрации по калибровочным кривым).

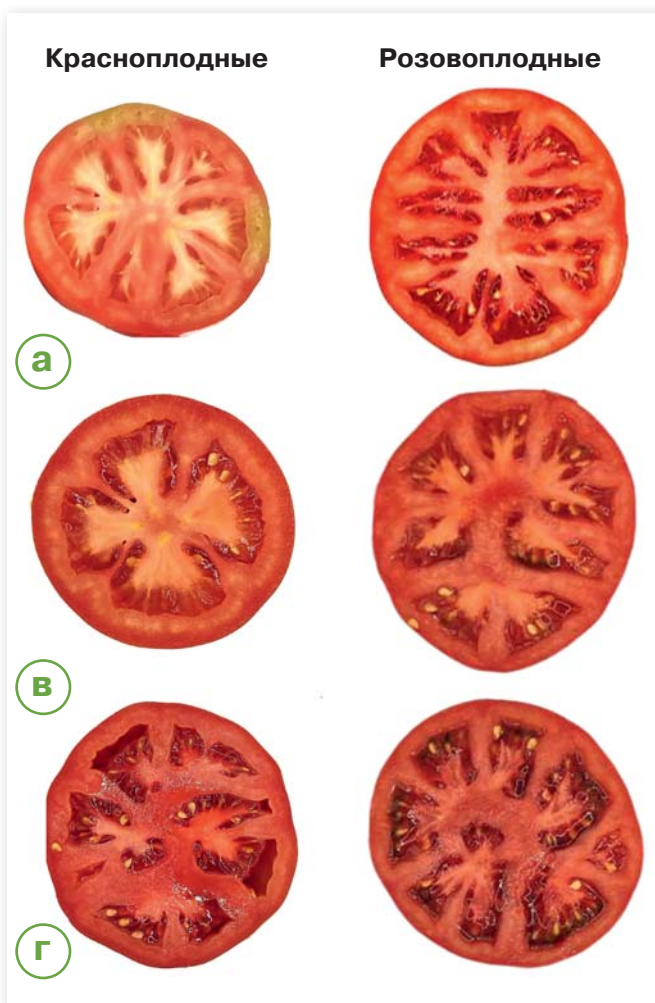
Интенсивность окраски мякоти плодов томата оценивалась как визуально (в баллах), так и инструментально с использованием колориметра. Для визуальной оценки была разработана специальная шкала (рис.):

1 балл — минимальная, светлая окраска мякоти плода (показатель $a/b=1,1-1,9$);

2 балла — средняя окраска мякоти плода (показатель $a/b=2,0-3,0$);

3 балла — интенсивная окраска мякоти плода (показатель $a/b \geq 3,0$).

Инструментальную оценку интенсивности окраски мякоти проводили с помощью колориметра Линшан (модель LS171, страна-производитель — Китай, сертификат CE). Прибор измеряет коэффициенты отражения на длинах волн, соответствующих зеленому и красному цветам (параметр a/b).



Шкала интенсивности окраски мякоти плодов томата: а) минимальная, светлая окраска мякоти плода; б) средняя окраска мякоти плода; в) Интенсивная окраска мякоти плода

Калибровка колориметра LS171 проводилась перед каждым сеансом измерений относительно стандартной белой плитки из комплекта поставки; выполнялась согласно инструкции производителя (плотное закрытие крышки, проверка чистоты плитки); повторялась после простоя более 1 недели; обеспечивала стандартное отклонение $\Delta E^*ab \leq 0,03$ (среднее значение 30 измерений с интервалом 3 с на белой плитке); прибор соответствует стандартам CIE и национальным стандартам GB/T 3978-2008, GB/T 3979-2008, GB/T 7921-2008, GB/T 11186.1-1989, JJG 595-2002.

Статистическая обработка данных включала: расчет описательной статистики; тестирование на нормальность распределения (критерий Шапиро-Уилка, QQ Plot); однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA); корреляционный анализ (коэффициенты Пирсона и Спирмена).

Для анализа отбирали не менее 10 плодов в фазе биологической спелости на каждую повторность (тройная повторность измерений), что обеспечивало репрезентативность выборки и возможность применения статистических методов, основанных на нормальном распределении.

Результаты исследований

В ходе исследования были проанализированы биохимические и инструментальные колориметрические показатели родительских линий томата. Полученные данные отражены в **таблице 1**, где представлены различия по биосинтезу пигментов и интенсивности окраски мякоти.

Проведенный сравнительный анализ выявил, что, несмотря на значительный размах вариабельности признаков, отцовские формы розовоплодных томатов в среднем незначительно превосходят материнские линии по содержанию сахаров. Внутри группы красноплодных линий средние концентрации сахаров ниже, чем у розовоплодных, однако отдельные образцы, в частности ♂ к-6777/23, демонстрируют высокие показатели, что свидетельствует о существенной внутригрупповой изменчивости.

Анализ колориметрических и визуальных показателей интенсивности окраски мякоти родительских линий показал, что характер проявления признака существенно варьировал в зависимости от принадлежности генотипов к розовоплодной или красноплодной группе. Для розовоплодных линий визуальная оценка интенсивности окраски мякоти в основном составляла 2–3 балла, а значения колориметрического показателя a/b находились в диапазоне 3,1–4,5, что свидетельствует об относительно умеренной вариабельности интенсивности окраски. Так, у ♀ к-3313/22 при визуальной оценке 2 балла значение a/b составляло 3,9, у ♀ к-3326/22 — 3,1, а у ♀ к-3832/23 при той же визуальной оценке было зарегистрировано максимальное в данной группе значение $a/b=4,5$.

Интенсивность окраски мякоти, измеренная колориметрически (по параметру a/b), в ряде случаев коррелировала с результатами визуальной оценки; однако строгой зависимости не выявлено. Так, у образца ♂ к-3313/22 при визуальной оценке 3 балла показатель a/b равнялся 4,3, а у образца ♀ к-3857/23 с аналогичной визуальной оценкой — 4,2. Это свидетельствует о согласовании субъективных и инструментальных данных для розовоплодных форм.

Таблица 1. Показатели биохимического состава и колориметрические характеристики родительских линий розовоплодных и красноплодных томатов (Крымский селекционный центр «Гавриш», 2023-2024 годы)

Образец	Сухое вещество, %	Общая кислотность, %	Сахара, Вх	β-каротин*	Ликопин*	Визуальная оценка интенсивности окраски мякоти, балл	Колориметрическая оценка яркости мякоти, а/б
Родительские линии розовоплодных гибридов F ₁ с яркой окраской мякоти							
♀ к-3313/22	4,5	0,54	4,1	1,3	4,7	2	3,9
♂ к-3313/22	4,5	0,43	3,4	1,4	6,3	3	4,3
♀ к-3319/22	4,3	0,58	3,3	1,6	6,1	2	3,3
♂ к-3319/22	4,5	0,46	4,7	2,4	7,7	3	3,6
♀ к-3326/22	4,3	0,53	3,5	1,3	6,5	2	3,1
♂ к-3326/22	4,2	0,52	4,7	1,5	5,3	3	3,5
♀ к-3832/23	3,8	0,58	3,4	1,2	5,3	2	4,5
♂ к-3832/23	4,5	0,52	3,5	1,5	4,8	3	3,8
♀ к-3853/23	5,4	0,55	3,9	2,2	9,5	3	4
♂ к-3853/23	5,2	0,51	4	2,5	8,8	3	4,2
♀ к-3854/23	6,2	0,52	4,1	1,7	10,3	2	3,7
♂ к-3854/23	4,9	0,46	3,8	1,7	5,3	3	3,9
♀ к-3857/23	6,2	0,56	3,1	1,1	10,7	3	4,2
♂ к-3857/23	5,3	0,45	4,1	1,8	8,9	2	3,9
♀ к-3859/23	6,2	0,59	3,5	1,4	9,6	1	3,8
♂ к-3859/23	5,8	0,57	3,6	1,2	4,3	2	4,1
♀ к-3918/23	5,6	0,53	4,3	2,8	9,9	3	4,1
♂ к-3918/23	5,3	0,49	4,4	3	9,2	3	4,3
Родительские линии красноплодных гибридов F ₁ с яркой окраской мякоти							
♀ к-2657/22	3,4	0,63	2,3	1,6	8,7	3	3,4
♂ к-2657/22	5	0,56	2,5	1,5	13,5	3	4,1
♀ к-2745/22	4,6	0,61	2,8	1,8	9,5	3	3,8
♂ к-2745/22	4,8	0,58	3	2	12,2	3	4
♀ к-4146/22	4,7	0,69	1,8	0,9	9	3	4,2
♂ к-4146/22	4,2	0,54	3,8	1,1	11,6	3	4,3
♀ к-4148/23	3,7	0,48	3,6	1,7	7,8	3	4,1
♂ к-4148/23	4,8	0,64	3,2	1,6	10,9	3	1,5
♀ к-6746/23	4,4	0,57	3,1	2,2	10,1	3	3,6
♂ к-6746/23	4,7	0,54	2,9	2,4	11,3	3	3,9
♀ к-6762/23	4,7	0,7	3,3	1,1	9	3	2,9
♂ к-6762/23	5,1	0,57	1,4	1,1	11,4	3	3,9
♀ к-6764/23	4,8	0,55	2,3	5,2	10,6	3	2,5
♂ к-6764/23	4,3	0,51	2,5	6,7	9,9	3	3,2
♀ к-6777/23	4,4	0,55	1,8	4,7	5,9	1	3,6
♂ к-6777/23	4,1	0,59	3,8	4,3	11,7	3	3,9
♀ к-6817/23	3,4	0,52	3,6	8,9	5,3	2	2,5
♂ к-6817/23	3,9	0,57	3,2	4,6	12,7	1	2,3
НСР ₀₅	0,42	0,04	0,50	1,20	1,38	0,3	0,45

Примечание: *мг/100 г сырого вещ-ва; в столбце «Наименование образца» использованы стандартные биологические символы: ♀ — материнская линия (форма); ♂ — отцовская линия (форма).

В группе красноплодных линий интенсивность окраски мякоти существенно варьировала, и распределение колориметрических значений было более неоднородным. При том, что визуальная оценка у большинства образцов составляла 3 балла, значения колориметрического индекса а/б изменялись в широких пределах — от 1,5 до 4,3. Например, у ♀ к-4146/22 при визуальной оценке 3 балла показатель а/б достигал 4,2, у ♂ к-4146/22 — 4,3, тогда как у ♂ к-4148/23 при той же визуальной оценке значение а/б составляло лишь 1,5. Аналогично, у ♀ к-6762/23 при 3 баллах визуальной оценки показатель а/б равнялся 2,9, а у ♀ к-6817/23 —

2,5 при визуальной оценке 2 балла. Полученные данные показывают, что в пределах красноплодной группы визуальная оценка интенсивности окраски мякоти плодов не всегда соответствует ее инструментально измеренным показателям.

Интенсивность окраски мякоти плодов томата демонстрировала различную связь с содержанием каротиноидов в зависимости от принадлежности к цветовой группе.

Статистический анализ выявил выраженную положительную корреляцию ($r = 0,68$, $p < 0,01$) между концентрацией ликопина и значением колориметрического индекса а/б у розовоплодных ли-

Таблица 2. Показатели биохимического состава и колориметрические характеристики плодов томата розовоплодных и красноплодных гибридов F₁ (Крымский селекционный центр «Гавриш», 2023-2024 годы)

Образец	Сухое ве- щество, %	Общая кис- лотность, %	Сахара, Вх	β-каротин*	Ликопин*	Визуальная оценка интенсивности ок- раски мякоти, балл	Колориметричес- кая оценка ярко- сти мякоти, а/б
розовоплодные гибриды F ₁							
St F ₁ Пинк Айди	5	0,39	4,2	2,2	5,4	2	3,8
к-3313/22	5,6	0,39	4,8	3,5	7,7	3	6,1
к-3319/22	5,6	0,49	4,7	2,7	8,1	2	5,9
к-3326/22	5,3	0,37	4,4	2,3	6,1	2	6,3
к-3832/23	5,8	0,31	5	3,4	6,5	2	4,8
к-3853/23	5,2	0,33	4,3	2,5	6,2	2	4,6
к-3854/23	6,2	0,44	5,2	3,4	9,2	3	8,7
к-3857/23	6,6	0,27	5,5	3,6	9,4	3	8,7
к-3859/23	5,4	0,33	4,5	3,3	6,3	2	4,9
к-3918/23	5,4	0,32	4,5	2,6	6	2	4,4
красноплодные гибриды F ₁							
St F ₁ Bountice	3,4	0,63	3,3	1,6	8,7	3	3,8
к-2657/22	4,5	0,67	3,5	2,1	9,6	3	5,9
к-2745/22	4,2	0,65	3,4	2,4	9,8	3	5,5
к-4146/23	4,4	0,65	3,7	2,4	14,5	3	7,1
к-4148/23	4,1	0,69	3,4	2,1	9,5	3	6,2
к-6762/23	4,4	0,72	3,6	1,5	10,1	3	5,3
к-6746/23	4,1	0,64	3,5	2,1	10,4	3	5,5
к-6764/23	4,3	0,61	3,3	2,2	12,5	3	4,5
к-6777/23	4,6	0,69	3,5	1,4	11,5	3	4,4
к-6817/23	3,9	0,64	3,5	2,6	10,8	3	5,5
НСР05	1,04	0,18	0,82	0,90	2,54	0,72	1,94

Примечание: *мг/100 г сырого вещ-ва; в столбце «Наименование образца» указаны контрольные гибриды первого поколения (F₁), обозна-
ченные как St (где St — код контрольного гибрида).

ний. Это свидетельствует о наличии устойчивой тенденции: более высокое содержание ликопина соответствует более высоким значениям колориметрического показателя а/б, отражающего интенсивность окраски мякоти.

В качестве примеров можно привести линии ♀ к-3857/23 и ♀ к-3918/23, у которых содержание ликопина составляло 10,7 и 9,9 мг/100 г соответственно, а значения а/б достигали 4,2 и 4,1. При более низком содержании ликопина, как у ♀ к-3313/22 (4,7 мг/100 г), показатель а/б был ниже и составлял 3,9. Для β-каротина у розовоплодных линий также установлена положительная связь с колориметрической яркостью ($r = 0,54$, $p < 0,05$). Например, у ♀ к-3853/23 при содержании β-каротина 2,2 мг/100 г показатель а/б составлял 4,0, а у ♂ к-3918/23 при 3,0 мг/100 г — 4,3.

У красноплодных линий выявлена умеренная положительная корреляция между содержанием ликопина и колориметрическим показателем интенсивности окраски а/б ($r_s = 0,41$, $p = 0,03$), что указывает на тенденцию к увеличению интенсивности окраски мякоти при повышении концентрации ликопина. Связь между содержанием β-каротина и показателем а/б оказалась слабой и статистически недостоверной ($r_s = 0,28$, $p = 0,15$), что свидетельствует об ограниченной роли β-каротина в формировании интенсивности окраски у данной группы образцов.

В этой группе отдельные линии при высоком содержании пигментов демонстрировали сравнительно низкие значения колориметрической яркости. Так, у ♀ к-6817/23 содержание β-каротина

составляло 8,9 мг/100 г, ликопина — 5,3 мг/100 г, тогда как показатель а/б равнялся 2,5. В то же время у ♂ к-4146/22 при более умеренном содержании β-каротина 1,1 мг/100 г и ликопина 11,6 мг/100 г значение а/б достигало 4,3. Следовательно, в пределах красноплодной группы связь между накоплением пигментов и интенсивностью окраски мякоти выражена менее последовательно, чем у розовоплодных форм.

В целом полученные результаты показывают, что цветовая группа является существенным фактором, определяющим характер проявления признака интенсивности окраски мякоти. Для розовоплодных линий интенсивность окраски мякоти в большей степени согласуется как с инструментальной оценкой, так и с содержанием каротиноидов, прежде всего ликопина. Для красноплодных линий, напротив, отмечается более широкий разброс колориметрических значений и отсутствие статистически значимой связи между визуальной и инструментальной оценкой интенсивности окраски мякоти, что указывает на необходимость использования объективных методов колориметрического анализа при сравнении образцов данной группы. Кроме того, анализ родительских форм позволяет заключить, что различия по интенсивности окраски мякоти между линиями определяются не только принадлежностью к определенной цветовой группе, но и индивидуальными особенностями конкретных генотипов.

Анализ биохимических и колориметрических показателей розовоплодных и красноплодных гибридов F₁ томата, проведенный в Крымском

селекционном центре «Гавриш» в 2023–2024 годах, выявил существенные различия между двумя группами образцов. Розовоплодные гибриды характеризовались более высоким содержанием сухого вещества (от 5,0 до 6,6% против 3,4–4,6% у красноплодных), повышенной сахаристостью (4,2–5,5 °Вх против 3,3–3,7 °Вх) и пониженной общей кислотностью (0,27–0,49% против 0,61–0,72%), что обуславливает их более сладкий и гармоничный вкус. Содержание β -каротина в розовоплодных формах варьировало от 2,2 до 3,6 мг/100 г, тогда как у красноплодных этот показатель составил 1,4–2,6 мг/100 г. По накоплению ликопина розовоплодные гибриды уступали красноплодным: максимальные значения в первой группе достигли 9,4 мг/100 г (образец F_1 к-3857/23), тогда как во второй группе ликопиновый показатель был значительно выше (8,7–14,5 мг/100 г), причем образец F_1 к-4146/23 продемонстрировал наибольшую концентрацию — 14,5 мг/100 г. Колориметрическая оценка подтвердила визуальные наблюдения: красноплодные гибриды получили максимальные 3 балла за интенсивность окраски мякоти, тогда как среди розовоплодных лишь образцы F_1 к-3313/22, F_1 к-3319/22, F_1 к-3854/23 и F_1 к-3857/23 были оценены в 3 балла. Колориметрический показатель а/б, оказался выше у красноплодных форм (4,4–7,1 против 3,8–8,7 у розовоплодных), причем максимальное значение зафиксировано у образца F_1 к-3854/23 (8,7). Наибольший интерес для последующих испытаний представляют розовоплодные гибриды F_1 к-3854/23 и F_1 к-3857/23, сочетающие высокое содержание сухого вещества (6,2–6,6%), сахаров (5,2–5,5 °Вх), ликопина (9,2–9,4 мг/100 г) и наилучшие колориметрические характеристики. Среди красноплодных гибридов выделяется гибриды F_1 к-4146/23 с максимальным накоплением ликопина (14,5 мг/100 г).

Корреляционный анализ показал сильную положительную связь между содержанием сухого вещества и интенсивностью окраски мякоти ($r = 0,78$; $p < 0,001$), а также выраженную положительную корреляцию между содержанием β -каротина и колориметрическим показателем а/б ($r = 0,88$; $p < 0,001$). Это свидетельствует о том, что β -каротин играет важную роль в формировании розовой окраски мякоти, что может быть использовано для селекционных целей.

Для красноплодных гибридов ключевым пигментом определяющим окраску оказался ликопин: его содержание колебалось от 5,4 до 14,5 мг/100 г. Эти данные указывают на доминирующую роль ликопина в формировании насыщенного красного тона и на модифицирующее влияние общей кислотности и сопутствующих каротиноидов на воспринимаемую интенсивную окраску мякоти.

Таким образом, сравнительный анализ розовоплодных и красноплодных гибридов F_1 томата, проведенный в условиях пленочных теплиц юга России, позволил выявить четкие различия в характере взаимосвязей между биохимическим составом и интенсивностью окраски мякоти, что согласуется с данными о генотипической обусловленности накопления каротиноидов [10, 12]. В отличие от красноплодных форм, где цвет мякоти преимущественно определяется содержанием ликопина, у ро-

зовоплодных гибридов более весомый вклад в формирование интенсивности окраски вносит β -каротин, что подтверждается высокими значениями корреляции между показателем а/б и концентрацией β -каротина ($r = 0,88$; $p < 0,001$). Полученные результаты также согласуются с наблюдениями Клее и Тиумана о комплексной природе формирования потребительских качеств плодов, где визуальная привлекательность тесно связана с содержанием сухого вещества и сахаров [11]. При этом в красноплодной группе выявленные корреляционные связи оказались слабее, что, вероятно, объясняется частичным ингибирующим влиянием повышенной кислотности на стабильность пигментного комплекса, как ранее было показано для образцов с высокой общей кислотностью [13].

Гибриды, выделяющиеся по комплексу признаков, демонстрируют разные селекционные преимущества. Розовоплодные гибриды F_1 к-3857/23 и F_1 к-3854/23 демонстрируют оптимальное сочетание биохимических и визуальных показателей, обеспечивающее формирование насыщенной розовой окраски мякоти: F_1 к-3857/23 — сухое вещество 6,6%, β -каротин 3,6 мг/100 г, ликопин $\approx 9,4$ мг/100 г, а/б = 8,7; F_1 к-3854/23 — сухое вещество 6,2%, β -каротин 3,4 мг/100 г, ликопин $\approx 9,2$ мг/100 г, а/б = 8,7.

Среди красноплодных особенно выделяется F_1 к-4146/23 (ликопин 14,5 мг/100 г; общая кислотность до 0,72%; а/б = 7,1) как источник интенсивного красного пигмента, тогда как F_1 к-4148/23 (β -каротин 2,1 мг/100 г; а/б = 6,2) интересен для создания гибридов с дополнительным каротиновым компонентом, способствующим цветовой стабильности.

Выводы

Проведенное исследование позволило установить, что интенсивность окраски мякоти плодов томата у розовоплодных и красноплодных гибридов F_1 характеризуется различным содержанием биологически активных веществ и специфическими корреляционными связями с ключевыми биохимическими показателями. В целом розовоплодные гибриды продемонстрировали более высокое содержание сухого вещества, сахаров и β -каротина при пониженной кислотности по сравнению с красноплодными. Колориметрический показатель а/б, оказался выше у розовоплодных форм (в среднем 7,9 против 6,5 у красноплодных).

Для розовоплодных гибридов выявлены сильная положительная корреляция между а/б и содержанием сухого вещества ($r = 0,78$; $p < 0,001$), а также высокая положительная связь с концентрацией β -каротина ($r = 0,88$; $p < 0,001$), что указывает на определяющую роль β -каротина в формировании розовой окраски мякоти. У красноплодных гибридов корреляции выражены слабее: отмечена умеренная связь а/б с сухим веществом ($r = 0,65$; $p < 0,01$) и ликопином ($r = 0,45$; $p < 0,05$), тогда как связь с сахарами статистически недостоверна.

Среди розовоплодных гибридов наибольшую колориметрическую яркость (а/б = 8,7) показали образцы F_1 к-3857/23 и F_1 к-3854/23, сочетающие высокое содержание сухого вещества (6,6

и 6,2 %), β -каротин (3,6 и 3,4 мг/100 г) и ликопин (9,4 и 9,2 мг/100 г). Среди красноплодных гибридов выделен гибрид F_1 к-4146/23 с максимальным накоплением ликопина (14,5 мг/100 г) и высокой интенсивностью окраски мякоти индекс

a/b (7,1), что делает его перспективным для последующего испытания в хозяйствах.

Библиографический список

1. Гавриш С. Ф. Итоги 2020 года. Овощи защищенного грунта // Гавриш. 2021. № 1. С. 20–30.
2. Гавриш С. Ф. 100 лет селекции томата защищенного грунта России (1920–2020) // Гавриш. 2024. № 2. С. 281–283.
3. ГОСТ 24556–89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С. М.: Издательство стандартов, 1989. 12 с.
4. ГОСТ 26180–84. Фрукты, овощи и продукты их переработки. Методы определения каротиноидов. М.: Издательство стандартов, 1984. 8 с.
5. ГОСТ 28561–90. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги. М.: Издательство стандартов, 1990. 10 с.
6. ГОСТ 25555.0–82. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения общей кислотности. М.: Издательство стандартов, 1982. 6 с.
7. ГОСТ 29030–91. Продукты переработки плодов и овощей. Метод определения растворимых сухих веществ рефрактометром. М.: Издательство стандартов, 1991. 8 с.
8. ГОСТ 8756.13–87. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров [Текст]. М.: Стандартинформ, 2010. 12 с. (Межгосударственный стандарт)
9. Дораис М., Эхрет Д. Л., Пападопулос А. П. Томат (*Solanum lycopersicum*) как источник биологически активных компонентов: от семени до потребителя // *Phytochemistry Reviews*. 2008. Т. 7. № 2. С. 231–250.
10. Дюмас Ю., Дадамо М., Ди Лука Г., Грольо Д. Томат как источник ликопина и каротиноидов: от производства до переработки // *Agro Food Industry Hi-Tech*. 2003. Т. 14, № 1. С. 6–10.
11. Клее Х. Дж., Тиуман Д. М. Генетические проблемы улучшения вкуса томата // *Trends in Genetics*. 2013. Т. 29, № 4. С. 249–256.
12. Перич Т. и др. Содержание ликопина и β -каротина в плодах томата // *Horticulture Research*. 2021. Т. 8. С. 1–11.
13. Романов М. А., Козлова И. В. Индекс зрелости плодов томата и его связь с органолептическими характеристиками // *Овощи России*. 2018. № 4. С. 52–58.
14. Reddy M. K., Lakshmi S., Kaul, P. и др. Характеристика содержания каротиноидов в плодах томата // *Indian Journal of Biotechnology*. 2010. Т. 9. С. 512–516.
15. Kays, S. J. Postharvest biology and handling of fruits and vegetables. — CAB International, 2001.
16. Kolay, E. Advances in tomato breeding // *Journal of Plant Breeding*. 2022. Vol. 15, No. 3. Pp. 100–110.
17. Kolay, E., Sharma, P., Singh, S. Tomato quality improvement: From genetics to consumers // *Plant Science Today*. 2023. Vol. 10, No. 2. Pp. 76–84.
18. Shwartz G. Advances in tomato quality // *International Journal of Food Science*. 2020. Vol. 105. Art. 102227. — DOI: 10.1016/j.ijfs.2020.102227

References

1. Gavrish S. F. Results of 2020. Greenhouse vegetables. Gavrish. 2021. No. 1. Pp. 20–30 (In Russ.).
2. Gavrish S. F. 100 years of tomato breeding for protected cultivation in Russia (1920–2020). Gavrish. 2024. No. 2. Pp. 281–283 (In Russ.).
3. GOST 24556–89. Processed fruit and vegetable products. Methods for determination of vitamin C. Moscow: Standards Publishing House, 1989. 12 p. (In Russ.).
4. GOST 26180–84. Fruits, vegetables and products of their processing. Methods for determination of carotenoids. Moscow: Standards Publishing House, 1984. 8 p. (In Russ.).
5. GOST 28561–90. Processed fruit and vegetable products. Methods for determination of dry matter or moisture. Moscow: Standards Publishing House, 1990. 10 p. (In Russ.).
6. GOST 25555.0–82. Processed fruit and vegetable products. Methods for determination of total acidity. Moscow: Standards Publishing House, 1982. 6 p. (In Russ.).
7. GOST 29030–91. Processed fruit and vegetable products. Method for determination of soluble solids by refractometer. Moscow: Standards Publishing House, 1991. 8 p. (In Russ.).
8. GOST 8756.13–87. Processed fruit and vegetable products. Methods for determination of sugars [Text]. Moscow: Standardinform, 2010. 12 p. (Interstate standard) (In Russ.).
9. Dorais M., Ehret D. L., Papadopoulos A. P. Tomato (*Solanum lycopersicum*) as a source of biologically active components: from seed to consumer. *Phytochemistry Reviews*. 2008. Vol. 7, No. 2. Pp. 231–250. (In Russ.).
10. Dumas Y., Dadamo M., Di Lucca G., Grollo D. Tomato as a source of lycopene and carotenoids: from production to processing. *Agro Food Industry Hi-Tech*. 2003. Vol. 14, No. 1. Pp. 6–10. (In Russ.).
11. Klee H. J., Tieman D. M. Genetic challenges of improving tomato flavor. *Trends in Genetics*. 2013. Vol. 29, No. 4. Pp. 249–256.
12. Peric T., et al. Lycopene and β -carotene content in tomato fruits // *Horticulture Research*. — 2021. Vol. 8. Pp. 1–11. (In Russ.).
13. Romanov M. A., Kozlova I. V. Tomato fruit maturity index and its relationship with organoleptic characteristics. *Vegetables of Russia*. 2018. No. 4. Pp. 52–58. (In Russ.).
14. Reddy, M. K., Lakshmi, S., Kaul, P., et al. Characterization of carotenoid content in tomato fruits. *Indian Journal of Biotechnology*. 2010. Vol. 9. Pp. 512–516.
15. Kays S. J. Postharvest biology and handling of fruits and vegetables. — CAB International, 2001.
16. Kolay E. Advances in tomato breeding. *Journal of Plant Breeding*. 2022. Vol. 15, No. 3. Pp. 100–110.
17. Kolay E., Sharma P., Singh S. Tomato quality improvement: From genetics to consumers. *Plant Science Today*. 2023. Vol. 10, No. 2. Pp. 76–84.
18. Shwartz G. Advances in tomato quality. *International Journal of Food Science*. 2020. Vol. 105. Art. 102227. — DOI: 10.1016/j.ijfs.2020.102227

Об авторах

Гавриш Сергей Федорович, доктор с.-х. наук, профессор, председатель совета директоров компании «ГАВРИШ».

Сушкова Анастасия Анатольевна (ответственный за переписку), н.с. ООО «НПО «Гавриш», соискатель ФГБНУ ФНЦО. E-mail: sushkova-nastyusha89@gmail.com

Редичкина Татьяна Александровна, канд. с.-х. наук, директор ООО «НИИСОК».

Схинас Мария Сергеевна, н.с. НПО «Гавриш», соискатель КубГАУ.

Authors details

Gavrish S.F., DSci (Agr.), professor, Chairman of the Board of Directors of GAVRISH.

Sushkova A.A. (author for correspondence, research fellow, NGO Gavrish LLC, applicant at the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC). E-mail: sushkova-nastyusha89@gmail.com

Redichkina T.A., Cand. Sci. (Agr.), director of NIISOK LLC.

Skhinas M.S., research fellow at the Gavrish R&D Center, applicant at Kuban State Agrarian University.



Подписано к печати 13.08.26. Формат А4. Бумага глянцевая мелованная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,4. Заказ №1551. Отпечатано в ГБУ РО «Рязанская областная типография» 390023, г.Рязань, ул.Новая, д 69/12. Сайт: www.ryazanskaya-tipografiya.ru. E-mail: ryazan_tip@bk.ru. Телефон: +7 (4912) 44-19-36