

**Инна Валерьевна Князева**

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

knyazewa.inna@yandex.ru

## СВЕТОДИОДНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ КАК ФАКТОР МОДИФИКАЦИИ АМИНОКИСЛОТНОГО ПРОФИЛЯ СОРТОВ ТОМАТА В ЗАКРЫТЫХ АГРОЭКОСИСТЕМАХ

*Цель исследования – изучение влияния светодиодного освещения различных спектральных характеристик на аминокислотный состав плодов томата, выращенных методом гидропонии в контролируемых условиях закрытых агроэкосистем. Объект исследования – отечественные сорта томатов Наташа и Тимоша, предназначенные для интенсивного культивирования в условиях многоярусной узкостеллажной гидропонной системы. Установлено, что ключевыми аминокислотами, составляющими основу состава плодов, являются глутаминовая кислота и глутамин. Исследование продемонстрировало, что реакция томата на различные спектры освещения носит сортоспецифический характер. Анализ показал, что белый спектр (сорт Наташа) и белый спектр с добавлением красного (сорт Тимоша) обеспечивали наибольшее увеличение содержания большинства аминокислот. В частности обработка белым спектром привела к увеличению содержания незаменимых аминокислот в плодах сорта Наташа на 12,1–32,6 % по сравнению с натриевым освещением (ДНаТ). В плодах сорта Тимоша наиболее выраженный прирост аминокислот (7,0–56,6 %) наблюдался при белом спектре с добавлением красного. В плодах томата сорта Наташа преобладали лейцин и изолейцин (32,6 %), валин (26,1 %) и метионин (24,4 %), а в плодах сорта Тимоша – аргинин (56,6 %), метионин (51,7 %), фенилаланин (30,1 %) и валин (25,0 %) по сравнению с контролем (ДНаТ). Освещение практически не повлияло на содержание лизина в плодах сорта Наташа и гистидина в плодах сорта Тимоша: концентрация этих аминокислот оставалась на уровне контрольного варианта независимо от применяемого спектра. Контрольное освещение (ДНаТ) имело низкие показатели по большинству аминокислот, уступая другим рассматриваемым вариантам освещения. Таким образом, оптимальное управление спектром освещения обеспечило целенаправленное изменение аминокислотного состава плодов томата, существенно повысив их пищевую ценность и функциональную значимость в условиях закрытых агроэкосистем.*

**Ключевые слова:** *Solanum lycopersicum L.*, аминокислоты, светодиодное освещение, гидропоника, закрытые агроэкосистемы

**Для цитирования:** Князева И.В. Светодиодное освещение как фактор модификации аминокислотного профиля сортов томата в закрытых агроэкосистемах // Вестник КрасГАУ. 2025. № 11. С. 47–56. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-11-47-56.

**Финансирование:** исследование выполнено за счет средств гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на реализацию крупных научных проектов по приоритетным направлениям развития науки и технологий (№ субсидии 075-15-2024-540).

**Inna Valeryevna Knyazeva**

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

knyazewa.inna@yandex.ru

## LED LIGHTING AS A FACTOR IN MODIFYING THE AMINO ACID PROFILE OF TOMATO VARIETIES IN CLOSED AGROECOSYSTEMS

The aim of this study is to investigate the effect of LED lighting with various spectral characteristics on the amino acid composition of tomato fruits grown hydroponically in controlled conditions of closed agroecosystems. The subjects of the study were the domestic tomato varieties *Natasha* and *Timosha*, intended for intensive cultivation in a multi-tiered narrow-rack hydroponic system. It was established that glutamic acid and glutamine are the key amino acids that form the basis of the fruit's composition. The study demonstrated that the tomato's response to different lighting spectra is cultivar-specific. Analysis revealed that white light (*Natasha* variety) and white light with added red (*Timosha* variety) provided the greatest increase in the content of most amino acids. In particular, treatment with white light led to an increase in the content of essential amino acids in *Natasha* fruits by 12.1–32.6 % compared to sodium lighting (DNaT). In *Timosha* tomatoes, the most pronounced increase in amino acid levels (7.0–56.6 %) was observed under a white spectrum with the addition of red. Leucine and isoleucine (32.6 %), valine (26.1%), and methionine (24.4 %) predominated in *Natasha* tomatoes, while arginine (56.6 %), methionine (51.7 %), phenylalanine (30.1 %), and valine (25.0 %) predominated in *Timosha* tomatoes compared to the control (DNaT). Lighting had virtually no effect on the lysine content of *Natasha* tomatoes or the histidine content of *Timosha* tomatoes: the concentrations of these amino acids remained at the control level, regardless of the spectrum used. The control lighting (DNaT) had low levels for most amino acids, inferior to the other lighting options considered. Thus, optimal control of the lighting spectrum ensured targeted changes in the amino acid composition of tomato fruits, significantly increasing their nutritional value and functional significance in closed agroecosystems.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum* L., amino acids, LED lighting, hydroponics, closed agroecosystems

**For citation:** Knyazeva IV. Led lighting as a factor in modifying the amino acid profile of tomato varieties in closed agroecosystems. *Bulletin of KSAU*. 2025;(11):47-56. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-11-47-56.

**Funding:** this study was supported by a grant from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for the implementation of major research projects in priority areas of science and technology development (grant № 075-15-2024-540).

**Введение.** Согласно отчету Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), примерно 820 млн человек в мире регулярно недоедают, испытывая дефицит пищевых ресурсов. Многие регионы сталкиваются с недостатком питательных веществ в рационе, а неправильное питание вызывает серьезные проблемы со здоровьем, включая ожирение и хронические заболевания [1].

Аминокислоты выполняют важнейшую роль в метаболических процессах, участвуя в транспорте и хранении углеводов, белков, витаминов, макроэлементов, воды и жиров. Кроме того, некоторые аминокислоты обладают антимутагенными свойствами и способствуют нормализации уровня сахара в крови [2]. Недостаточность аминокислот ведет к нарушению обмена веществ, провоцируя патологии вроде диабета, бессонницы, артрита и сердечно-сосудистых болезней. Регулярное потребление сбалансированного набора аминокислот позволяет поддерживать нормальные обменные процессы в организме [3].

Растительная пища служит основным источником протеинов для человека: более 60 %

необходимого организму белка поступает именно из овощей, фруктов и злаков [4, 5]. Поэтому улучшение аминокислотного профиля сельскохозяйственных культур становится важным направлением современной селекции и биотехнологии. Такие меры помогают повышать пищевую ценность продуктов и предотвращать глобальные проблемы дефицита питательных веществ, стимулируя активное развитие программ биофортификации продуктов питания.

Одним из эффективных методов повышения пищевой ценности растительной продукции выступает агрономическая биофортификация. Обработка метилжасмонатом приводила к существенному увеличению концентрации ключевых аминокислот в плодах томата: глутамина – в 16 и 29 раз, глутаминовой кислоты – в 2 и 27 раз, ГАМК – в 27 и 14 раз [6]. Неспособность человеческого организма синтезировать незаменимые аминокислоты сместила исследовательские усилия в направлении повышения их содержания в продуктах растительного происхождения. Обработка бактериальной инокуляцией штамма *Bacillus subtilis* способствовала

увеличению содержания всех незаменимых аминокислот (лизин, фенилаланин, гистидин, лейцин + изолейцин, валин, треонин, триптофан) в биомассе Melissa лекарственной и мяты длиннолистной, за исключением метионина. Одновременно наблюдалось повышение уровня заменимых аминокислот (аргинин, тирозин, пролин, серин, аланин, глицин, цистин) [7].

В условиях контролируемого выращивания растений искусственное освещение играет ключевую роль, обеспечивая необходимый источник энергии для процесса фотоавтотрофного роста [8]. Светодиоды с разными спектральными характеристиками и дополнительное светодиодное освещение разной продолжительности оказывали различное влияние на метаболизм плодов томата, приводя к увеличению содержания ключевых соединений, определяющих их качественные показатели [9–11]. Светодиодное освещение красного и синего спектров обеспечивало значительное увеличение содержания аминокислот, аскорбиновой кислоты и токоферола в плодах томата [12]. Повышение качественных показателей и обогащение плодов томата полезными веществами представляет собой значимую ценность для аграрного сектора овощеводства и положительно влияет на состояние здоровья населения.

Несмотря на имеющиеся данные о положительном влиянии правильно подобранного светодиодного освещения на качество плодов томата, целесообразным представляется проведение

исследований, посвященных изучению эффектов дополнительного светодиодного освещения непосредственно перед уборкой урожая.

**Цель исследования** – изучение влияния светодиодного освещения различного спектрального состава в предуборочный период на аминокислотный профиль плодов томата, выращенных методом гидропоники в контролируемых условиях закрытых агроэкосистем.

**Объекты и методы.** Исследование проводилось в 2024–2025 гг. в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ (ФНАЦ ВИМ). Семенной материал томата сортов Наташа и Тимоша предоставлен из биоресурсной коллекции лаборатории селекции и семеноводства пасленовых культур ФГБНУ ФНЦО. Сорта Наташа и Тимоша специально созданы для эффективного выращивания в многоярусных узкостеллажных гидропонных установках и выделяются компактностью размера (до 30–35 см высотой), быстрым сроком созревания плодов (82–90 сут) и детерминантным ростом, позволяющим избежать операций по формированию кустов и подвязыванию растения. Плоды сорта Наташа окрашены в красный цвет, тогда как сорт Тимоша отличается ярко-желтой окраской плодов.

Растения томата выращивали гидропонным способом по малообъемной технологии на минераловатном субстрате с капельным поливом в фитокомнате производства Федерального научного агроинженерного центра «ВИМ» (Москва, Россия) (рис.).



А



Б



В

Технология выращивания томата сортов Наташа и Тимоша в предуборочный период в условиях фитокомнаты: А – светодиоды белого спектра (W); Б – светодиоды синего спектра (Blue-P-hLL); В – светодиоды красного спектра (Red-P-hLL)

Technology of growing tomato varieties Natasha and Timosha in the pre-harvest period in the conditions of a phytocommunity: А – white spectrum LEDs (W); Б – blue spectrum LEDs (Blue-P-hLL); В – red spectrum LEDs (Red-P-hLL)

Фитоконната площадью 16,5 м<sup>2</sup> использовалась для размещения 80 растений томата с плотностью посадки 5 растений на 1 м<sup>2</sup>. Температура поддерживалась на уровне (22 ± 2) °С днем (во время 16-часового светового периода) и (17 ± 2) °С ночью. Относительная влажность воздуха находилась в диапазоне (65 ± 2) %. Раствор для питания готовился на основе трехкомпонентных удобрений марки GHE Flora (производства General Hydroponics Europe, Франция) с pH 5,8–6,2.

В качестве источника света была использована усовершенствованная система освещения, разработанная специалистами ФНАЦ ВИМ. За 14 дней до уборки урожая плодов томата в экспериментальных вариантах (3 и 4) одновременно с основным белым освещением дополнительно включались синие (Blue-P-hLL) и красные (Red-P-hLL) светодиоды (с 5:00 до 21:00) на протяжении 16 ч в сут.

В эксперименте были использованы четыре варианта освещения с двумя независимыми схемами облучения (табл. 1).

Таблица 1

**Варианты освещения, применяемые в эксперименте**  
**Lighting options used in the experiment**

Вариант освещения	Поток фотонов, мкмоль м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup>					
	ПФП λ=400–800 нм	Синий (B)	Зеленый (G)	Красный (R)	Дальний красный (FR)	Процентный состав света (B:G:R:FR)
ДНaT (контроль)	250,0±10,3	17,5±1,3	152,5±4,9	62,5±3,2	17,5±1,2	7:61:25:7
СИД – W (белый)	250,1±4,0	46,9±0,6	111,5±1,2	88,6±1,5	3,1±0,2	19:45:35:1
Blue-P-hLL	248,8±3,8	108,1±0,8	74,8±1,2	60,6±1,5	5,3±0,01	43:30:25:2
Red-P-hLL	250,8±3,9	29,3±1,3	74,2±2,4	140,0±3,4	5,3±0,01	11:30:57:2

*Примечание.* Среднее значение плотности фотонного потока (ПФП), поступающего от светодиодов в зонах спектра: ультрафиолетовая типа UV-A (350–400 нм), синяя (400–500 нм), зеленая (500–600 нм), красная (600–700 нм) и дальняя красная (700–800 нм).

Измерения плотности потока фотонов (photon flux density) и спектрального состава излучения проводили с помощью прибора MK350D Compact Spectrometer (UPRtek Corp. Miaoli County, Taiwan).

Аминокислоты входят в состав белков и классифицируются на две группы в зависимости от возможности организма человека их синтезировать: незаменимые и заменимые. Организм человека не способен вырабатывать следующие незаменимые аминокислоты: лейцин (Leu), изолейцин (Ile), метионин (Met), фенилаланин (Phe), триптофан (Trp), валин (Val), треонин (Thr), лизин (Lys), аргинин (Arg) и гистидин (His). Эти вещества поступают в организм исключительно с пищей, произведенной растениями. Что касается заменимых аминокислот, таких как аланин (Ala), аспарагин (Asn), цистеин (Cys), глутамин (Gln), аспарагиновая кислота (Asp), глицин (Gly), пролин (Pro), серин (Ser) и тирозин (Tyr), они могут синтезироваться как самим человеческим организмом, так и растениями [13].

Определение массовой доли 20 аминокислот проводили методом капиллярного электрофореза с использованием аналитического комплекса на основе системы капиллярного электрофореза «Капель-205» (Россия). Для аминокислот проводили кислотный и щелочной гидролиз для получения производных фенилизотиокарбамила.

Статистическую обработку результатов проводили с применением дисперсионного анализа (ANOVA) в программе MS Excel. В качестве post hoc теста использовали тест Дункана. Количество анализируемых растений (n) составило четыре образца, каждый из которых был представлен тремя повторами.

**Результаты и их обсуждение.** Профиль аминокислотного состава, был детально изучен и представлен в таблицах 2 и 3 для обоих исследованных сортов томата. Исследования показали, что основными аминокислотами в плодах томата сортов Наташа и Тимоша являются глутаминовая кислота и глутамин, составлявшие большую часть от общего аминокислотного состава. Эти результаты подтверждают науч-

ные данные, свидетельствующие о том, что глутаминовая и аспарагиновая кислоты являются наиболее распространенными аминокислотами в растениях [14]. Дополнительное освещение с использованием красных и синих светодиодов способствовало увеличению содержания аминокислот, витамина С, органических кислот, каротиноидов, фенольных кислот и других веществ в плодах томата [15].

Наши результаты подтвердили, что дополнительное светодиодное освещение разного спектрального состава оказывает дифференцированное влияние на аминокислотный состав плодов томатов сортов Наташа и Тимоша в предуборочный период. Исходя из полученных данных, оптимальным вариантом для увеличе-

ния содержания практически всех аминокислот в плодах сорта Наташа по сравнению с контролем (ДНаТ), за исключением лизина, фенилаланина, тирозина, глутаминовой кислоты и глутамина представлял белый спектр освещения (таблица 2). Согласно предыдущим исследованиям светодиодное освещение белым спектром (18B:23G:42R:17FR) в ночной период способствовало повышению аминокислот в плодах томата: у сорта Ляна увеличивало содержание семи незаменимых аминокислот, таких как лизин, гистидин, валин, лейцин+изолейцин, метионин и треонин. В то же время у сорта Вспышка наблюдалось повышение уровня пяти аминокислот, включая гистидин, валин, лейцин + изолейцин и треонин [16].

Таблица 2

**Влияние разного спектра освещения в предуборочный период на аминокислотный профиль (незаменимые\* и заменимые аминокислоты) плодов томата сорта Наташа**  
**Effect of different light spectrums in the pre-harvest period on the amino acid profile (essential\* and replaceable amino acids) in the fruits of the Natasha tomato variety**

Аминокислота, мг/100 г	Варианты освещения			
	ДНаТ (контроль)	СИД-W (белый спектр)	Blue-P-hLL (белый+синий спектр)	Red-P-hLL (белый+красный спектр)
Аргинин Arg*	45,27±1,80c	52,64±1,25a	45,92±0,41c	48,68±1,14b
Лизин Lys*	26,07±0,74ab	26,78±0,57a	25,22±0,87b	27,33±1,03a
Тирозин Tyr	16,12±0,66b	16,17±0,48b	15,84±0,61b	17,77±0,44a
Фенилаланин Phe*	21,64±1,17a	22,46±0,51a	19,18±0,86b	21,66±1,36a
Гистидин His*	7,28±0,36bc	16,08±0,40a	7,97±0,47b	6,65±0,43c
Сумма лейцин+изолейцин Leu+Ile*	44,70±1,29b	59,25±1,60a	43,43±2,90b	46,33±2,36b
Метионин Met*	9,78±0,48b	12,17±0,25a	10,56±0,61b	10,82±0,83b
Валин Val*	20,52±0,49b	25,87±2,29a	26,61±1,00a	27,88±1,60a
Пролин Pro	31,72±1,20c	38,22±1,01b	41,93±1,34a	31,42±1,06c
Треонин Thr*	62,01±1,75c	75,77±1,30a	70,32±2,16b	57,82±2,11d
Серин Ser	24,50±0,67b	26,11±0,73a	25,26±1,10ab	26,17±1,17ab
Аланин Ala	21,23±1,07b	25,14±0,45a	20,20±0,62b	23,89±1,37a
Глицин Gly	23,35±1,19b	26,85±0,90a	23,85±0,48b	23,67±0,98b
Аспарагиновая к-та+аспарагин Asp + Asn	63,35±2,49b	76,05±4,46a	59,12±1,02c	76,78±1,30a
Глутаминовая кисло- та+глутамин Glu+Gln	263,87±13,55b	266,20±3,49b	202,42±3,32c	289,71±7,67a
Цистин Cys-Cys	10,20±0,33c	12,24±0,46a	11,01±0,48b	12,05±0,43a
Триптофан Trp*	8,05±0,24b	9,33±0,59a	8,89±0,14a	9,50±0,10a

Здесь и далее: разные буквы обозначают статистически значимые различия между группами ( $p < 0,05$ ).

При обработке белым спектром томата содержание незаменимых аминокислот в плодах сорта Наташа изменилось следующим образом: концентрация гистидина увеличилась на 12,1 %, триптофана – 15,9, аргинина – 16,3, треонина – 18,9, метионина – 24,4, валина – 26,1 и суммарное содержание лейцина и изолейцина – на 32,6 % по сравнению с контролем – натриевым освещением (ДНаТ). Среди всех проанализированных незаменимых аминокислот максимальную прибавку продемонстрировали лейцин и изолейцин. Помимо своей важной роли в питании, лейцин и изолейцин также оказывают благотворное влияние на здоровье человека. Они способствуют росту и восстановлению мышц, нормализуют уровень сахара в крови, укрепляют иммунитет, защищают клетки от мутаций и поддерживают общий энергетический баланс организма [17].

На втором месте по значимости увеличения аминокислотного состава плодов томата сорта Наташа находился белый спектр с добавлением красного. Он способствовал значительному повышению содержания большинства аминокислот, особенно тирозина (на 10,2 %), важного для психоэмоционального благополучия и синтеза нейромедиаторов. При этом белый спектр с добавлением синего особо выделялся повышением уровня пролина (на 32,2 %), который необходим для восстановления тканей и поддержания сосудистой системы, по сравнению с контролем (ДНаТ) и другими вариантами освещения.

При анализе отдельных аминокислот в плодах сорта Наташа были выявлены следующие закономерности: аргинин, гистидин, метионин, треонин, аланин, глицин, лейцин и изолейцин содержались в наибольшем количестве при белом спектре освещения. Фенилаланин максимально накапливался при натриевом освещении (ДНаТ), а также при белом и белом с красным спектрах. Валин значительно возрастал при белом спектре и при его комбинации с красным и синим. Цистин, аспарагиновая кислота и аспарагин активно синтезировались при белом спектре и еще больше вырастали при комбинации белого с красным. Триптофан увеличивался во всех вариантах светодиодного освещения: белом, белом с красным и белом с синим.

Некоторые аминокислоты, такие как пролин, тирозин, глутаминовая кислота и глутамин, демонстрировали четкую зависимость от спектра: пролин лучше накапливался при белом спектре

с добавлением синего, тирозин, глутаминовая кислота и глутамин – при белом с красным. Вероятно, такая зависимость связана с особенностями восприятия света растениями и реакцией их метаболизма на разные спектральные диапазоны. Например, голубой спектр стимулирует синтез белка и азотный обмен, что помогает пролину быстрее накапливаться. Красные лучи, напротив, влияют на гормональный фон и общий фотосинтез, способствуя большему накоплению глутаминовой кислоты, глутамина и тирозина. Такое явление обусловлено специфической рецепторных систем растений и ферментативных путей, чувствительных к разным длинам волн света [18].

Белый спектр значительно увеличил содержание серина по сравнению с натриевой лампой (ДНаТ). Однако при дополнительном включении синего или красного спектра (варианты «белый + синий» и «белый + красный») содержание серина возвращалось к показателям, сопоставимым с контролем (ДНаТ), и практически не отличалось от обычного белого освещения. Таким образом, повышение уровня серина характерно исключительно для чистого белого спектра. Тем не менее стоит отметить, что на содержание лизина в плодах сорта Наташа освещение практически не повлияло, и его концентрация оставалась на уровне контроля независимо от использованного спектра.

Белый спектр с добавлением синего света приводил к значительному снижению содержания фенилаланина, аспарагиновой кислоты с аспарагином и глутаминовой кислоты с глутамином по сравнению с контролем (натриевая лампа) и другими вариантами светодиодного освещения. Особенностью натриевой лампы оказалось то, что она позволяла поддерживать нормальный уровень фенилаланина, однако в целом ее использование сопровождалось общим снижением содержания аминокислот в плодах сорта Наташа.

Согласно исследованиям Virsilè et al. (2020), метаболизм аминокислот в растениях существенно зависит от спектра освещения, поскольку различные световые волны влияют на синтез, распределение и концентрацию аминокислот [19]. В наших исследованиях применение белого спектра с добавлением красного способствовало достоверному увеличению содержания почти всех аминокислот в плодах сорта Тимоша, за исключением гистидина, пролина и трео-

нина, по отношению к контрольному варианту освещения (ДНаТ) (табл. 3). При данном варианте освещения концентрация гистидина и пролина осталась на уровне контрольного показателя (ДНаТ), в то время как концентрация треонина достигла максимума при белом спектре с добавлением синего, увеличившись на 20,4 % по сравнению с контролем.

В наилучшем варианте освещения (белый спектр с добавлением красного) концентрация незаменимых аминокислот в плодах томата сорта Тимоша по сравнению с контролем (ДНаТ) увеличилась следующим образом: трип-

тофан – на 7,0 %, лейцин и изолейцин –18,3, лизин – 23,2, валин –25,0, фенилаланин –30,1, метионин –51,7, аргинин – на 56,6 %.

Особенно выраженное увеличение концентрации аминокислот наблюдалось у метионина и аргинина – на 50 % по сравнению с контролем. Такое повышение концентрации аминокислот особенно важно для человека, ведь метионин необходим для синтеза белков и поддержания функций печени, а аргинин способствует регенерации тканей, синтезу гормона роста и укреплению иммунитета.

Таблица 3

**Влияние разного спектра освещения в предуборочный период на аминокислотный профиль (незаменимые\* и заменимые аминокислоты) плодов томата сорта Тимоша**  
**Effect of different light spectrums in the pre-harvest period on the amino acid profile (essential\* and replaceable amino acids) of Timosha tomato fruits**

Аминокислота, мг/100 г	Вариант освещения			
	ДНаТ (контроль)	СИД-W (белый спектр)	Blue-P-hLL (белый+синий спектр)	Red-P-hLL (белый+красный спектр)
Аргинин Arg*	63,31±0,85c	65,13±1,79c	76,90±1,00b	99,12±6,37a
Лизин Lys*	34,02±1,09c	34,34±0,72c	36,57±1,37b	41,92±1,87a
Тирозин Tyr	20,94±0,40c	21,51±1,20bc	23,51±1,13b	26,32±0,78a
Фенилаланин Phe*	27,74±1,53c	29,74±0,69bc	31,73±1,45b	35,90±0,78a
Гистидин His*	19,92±1,33ab	22,09±1,63a	18,35±0,64b	21,36±1,65a
Сумма лейцин + изолейцин Leu + Ile*	60,89±1,42c	60,66±1,71c	62,26±2,38c	72,02±1,55a
Метионин Met*	9,45±0,15c	11,68±0,35b	12,16±0,93b	14,34±0,68a
Валин Val*	25,79±1,50b	26,08±1,47b	26,92±1,36b	32,22±1,58a
Пролин Pro	38,53±2,31ab	32,99±1,45c	43,67±3,01a	39,10±0,97b
Треонин Thr*	70,74±2,85b	73,10±1,62b	85,14±2,12a	74,83±2,72b
Серин Ser	26,24±2,13c	34,17±0,87b	34,74±1,25b	39,40±0,77a
Аланин Ala	27,76±1,27b	29,19±0,71b	29,32±1,03b	31,93±1,25a
Глицин Gly	29,63±1,12b	30,51±0,76b	31,33±1,40ab	34,16±1,81a
Аспарагиновая кислота + аспарагин Asp+Asn	77,18±2,15c	88,61±4,44b	60,34±2,07d	99,78±2,71a
Глутаминовая кислота + глутамин Glu+Gln	273,69±9,71c	306,60±5,86b	183,67±8,08d	348,77±4,47a
Цистин Cys-Cys	13,25±1,01b	13,54±0,69b	13,07±0,90b	16,24±0,67a
Триптофан Trp*	10,20±0,22b	11,12±0,40a	9,51±0,47c	10,92±0,53a

В плодах томата сорта Тимоша выявлены следующие закономерности изменения содержания аминокислот от спектра освещения: большинство аминокислот (аргинин, лизин, тирозин, фенилаланин, лейцин и изолейцин, метионин, валин, серин, аланин, глицин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты, цистин) показали наибольшую концентрацию при белом свете

с дополнительным красным спектром. Для треонина оптимальной стала комбинация белого света с синим спектром. Пролин продемонстрировал максимальную концентрацию при натриевом освещении, оставаясь на сопоставимом уровне при комбинации белого света с синими и красными спектрами. Триптофан также имел наилучшие показатели при белом свете и с до-



полнительным красным спектром. Содержание гистидина в плодах сорта Тимоша практически не зависело от варианта освещения, оставаясь на уровне контрольного образца вне зависимости от выбранного спектра.

Таким образом, исследование показало, что освещение оказало значительное влияние на аминокислотный состав плодов томата, причем эффект зависел от сорта. Было установлено, что сорт Тимоша демонстрировал наибольшую отзывчивость к комбинации белого света с красным спектром, при которой произошло интенсивное накопление большинства аминокислот. Отдельные аминокислоты, такие как треонин, реагировали иначе, предпочитая белый свет с синим спектром. Однако некоторые аминокислоты, например треонин, проявляли иную реакцию, демонстрируя наибольшую концентрацию при белом свете с добавлением синего спектра. Также выяснилось, что сорт Наташа характеризовался активным накоплением аминокислот при белом спектре, а дополнительная красная и синяя составляющие усиливали синтез отдельных соединений, таких как пролин, тирозин, глутамин и глутаминовая кислота. Полученные результаты подтвердили важность учета сортовых особенностей при выборе спектра освещения, что позволяет повысить качество урожая и обеспечить повышенное содержание ценных аминокислот.

**Заключение.** Подтверждено влияние сорта и светодиодного спектрального облучения в предуборочный период на аминокислотный состав плодов томата сортов Наташа и Тимоша.

Оптимальным вариантом освещения для повышения аминокислотного состава плодов томата сорта Наташа явился белый спектр, который обеспечил значительное увеличение содержания незаменимых аминокислот (аргинин, гистидин, лейцин и изолейцин, метионин, валин, треонин, триптофан) и заменимых аминокислот (аспарагиновая кислота и аспарагин, глицин, аланин, серин, цистин). Этот вариант освещения продемонстрировал наибольшую эффективность по сравнению с контролем (ДНаТ) и другими видами освещения.

В плодах томата сорта Тимоша белый спектр с добавлением красного оказывал наибольшее положительное влияние на содержание большинства аминокислот, включая незаменимые (аргинин, лизин, фенилаланин, лейцин и изолейцин, метионин, валин, триптофан) и заменимые (тирозин, серин, аланин, глицин, аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота, цистин).

Контрольное освещение (ДНаТ) имело низкие показатели по большинству аминокислот, уступая другим рассматриваемым вариантам освещения.

#### Список источников

1. OECD/FAO 2020, OECD-FAO Agricultural Outlook 2020–2029, OECD Publishing, Paris/FAO, Rome. P. 90. DOI: 10.1787/1112c23b-en.
2. Fan J., Yuan Z., Burley S.K., et al. Amino acids control blood glucose levels through mTOR signaling // European Journal of Cell Biology. 2022. Vol. 101. P. 151240. DOI: 10.1016/j.ejcb.2022.151240.
3. Trovato M., Funck D., Forlani G., et al. Amino acids in plants: regulation and functions in development and stress defense // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12, P. 772810. DOI: 10.3389/fpls.2021.772810.
4. Park J.S. Amino acid content in *Rhododendron schlippenbachii* Maxim flowers in different colors // Bioscience, Biotechnology and Research Asia. 2016. Vol. 13, P. 1285–1289. DOI: 10.13005/bbra/2268.
5. Низкий С.Е., Кодирова Г.А., Загуменная Г.В. Аминокислотный состав белка зерна *Glycine max* (L.) Merr. Сорт Амурской селекции // Вестник КрасГАУ. 2025. № 8. С. 3–12. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-3-12.
6. Meza S.L.R., de Castro Tobaruela E., Pascoal G.B., et al. Induction of Metabolic Changes in Amino Acid, Fatty Acid, Tocopherol, and Phytosterol Profiles by Exogenous Methyl Jasmonate Application in Tomato Fruits // Plants. 2022. Vol. 11, N 3. P. 366. DOI: 10.3390/plants11030366.
7. Князева И.В. Оценка влияния *Bacillus subtilis* на некоторые биохимические показатели мяты длиннолистной и мелиссы лекарственной при гидропонном выращивании // Вестник КрасГАУ. 2025. № 5. С. 3–12. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-5-3-12.



8. Kozai T., Uraisami K., Kai K., et al. Productivity: definition and application // Plant factory basics, applications and advances. 2022. P. 197–216.
9. Ntagkas N., Vos R.C.H., Woltering E.J., et al. Modulation of the Tomato Fruit Metabolome by LED Light // *Metabolites*. 2020. Vol. 10, N 6. P. 266. DOI: 10.3390/metabo10060266.
10. Gil H.J., Kim Y.X., Sung J., et al. Metabolomic Insights of the Tomato Fruits (*Solanum lycopersicum* L.) Cultivated Under Different Supplemental LED Lighting and Mineral Nutrient Conditions // *Hortic. Environ. Biotechnol.* 2020. Vol. 61, N 2. P. 415–427. DOI: 10.1007/s13580-019-00215-8.
11. Liu X.Y., Chen Z., Jahan M.S., et al. RNA-seq Analysis Reveals the Growth and Photosynthetic Responses of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Under Red and Blue LEDs With Supplemental Yellow, Green, or White Light // *Hortic. Res.* 2020. Vol. 7. P. 206. DOI: 10.1038/s41438-020-00429-3.
12. Xiao L., Shibuya T., Watanabe T., et al. Effect of light quality on metabolomic, ionic, and transcriptomic profiles in tomato fruit // *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23, N 21. P. 13288. DOI: 10.3390/ijms232113288.
13. Hildebrandt T.M., Nesi A.N., Araújo W.L., et al. Amino Acid Catabolism in Plants // *Molecular Plant*. 2015. Vol. 8, N 11, P. 1563–1579. DOI: 10.1016/j.molp.2015.08.005.
14. Kumar V., Sharma A., Kaur R., et al. Differential Distribution of Amino Acids in Plants // *Amino Acids*. 2017. Vol. 49. P. 821–869. DOI: 10.1007/s00726-017-2401-x.
15. Wang S., Jin N., Jin L., et al. Response of Tomato Fruit Quality Depends on Period of LED Supplementary Light // *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. P. 833723. DOI: 10.3389/fnut.2022.833723.
16. Knyazeva I.V., Panfilova O., Vershinina O., et al. The effect of nighttime LED lighting on tomato growth, yield, and nutrient content of fruits // *Horticulturae*. 2024. Vol. 10, N 12. DOI: 10.3390/horticulturae10121259.
17. Wu G. Amino Acids in Nutrition, Health, and Disease // *Frontiers in Bioscience-Landmark*. 2021. Vol. 26, N 12. P. 1386–1392. DOI: 10.52586/5032.
18. Heinemann B., Hildebrandt T.M. The Role of Amino Acid Metabolism in Signaling and Metabolic Adaptation to Stress-Induced Energy Deficiency in Plants // *Journal of Experimental Botany*. 2021. Vol. 72, N 13. P. 4634–4645. DOI: 10.1093/jxb/erab182.
19. Virsilė A., Brazaitytė A., Vaštakaitė-Kairienė V., et al. The Distinct Impact of Multi-Color LED Light on Nitrate, Amino Acid, Soluble Sugar and Organic Acid Contents in Red and Green Leaf Lettuce Cultivated in Controlled Environment // *Food Chemistry*. 2020. Vol. 310. P. 125799. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125799.

## References

1. OECD/FAO 2020, OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029, OECD Publishing, Paris/FAO, Rome. P. 90. DOI: 10.1787/1112c23b-en.
2. Fan J., Yuan Z., Burley S.K., et al. Amino acids control blood glucose levels through mTOR signaling. *European Journal of Cell Biology*. 2022;101:151240. DOI: 10.1016/j.ejcb.2022.151240.
3. Trovato M., Funck D., Forlani G., et al. Amino acids in plants: regulation and functions in development and stress defense. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:772810. DOI: 10.3389/fpls.2021.772810.
4. Park J.S. Amino acid content in *Rhododendron schlippenbachii* Maxim flowers in different colors. *Bio-science, Biotechnology and Research Asia*. 2016;3:1285-1289. DOI: 10.13005/bbra/2268.
5. Nizkiy S.E., Kodirova G.A., Zagumennaya G.V. Amino acid composition of protein of *Glycine max* (L.) Merr. grain varieties of the Amur breeding. *Bulletin of KSAU*. 2025;(8):3-12. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-3-12.
6. Meza S.L.R., de Castro Tobaruela E., Pascoal G.B., et al. Induction of Metabolic Changes in Amino Acid, Fatty Acid, Tocopherol, and Phytosterol Profiles by Exogenous Methyl Jasmonate Application in Tomato Fruits. *Plants*. 2022;11(3):366. DOI: 10.3390/plants11030366.
7. Knyazeva I.V. Effect of *Bacillus subtilis* on some biochemical parameters of long-leaved mint and medicinal melissa under hydroponic cultivation. *Bulletin of KSAU*. 2025;(5):3-12. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-5-3-12.

8. Kozai T, Uraisami K, Kai K, et al. Productivity: definition and application. *Plant factory basics, applications and advances*. 2022:197-216.
9. Ntagkas N, Vos RCH, Woltering EJ, et al. Modulation of the tomato fruit metabolome by LED light. *Metabolites*. 2020;10(6):266. DOI: 10.3390/metabo10060266.
10. Gil HJ, Kim YX, Sung J, et al. Metabolomic insights of the tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.) cultivated under different supplemental led lighting and mineral nutrient conditions. *Hortic Environ Biote*. 2020;61:2:415-427. DOI: 10.1007/s13580-019-00215-8.
11. Liu XY, Chen Z, Jahan MS, et al. RNA-Seq analysis reveals the growth and photosynthetic responses of rapeseed (*Brassica napus* L.) under red and blue LEDs with supplemental yellow, green, or white light. *Hortic Res*. 2020;7:206. DOI: 10.1038/s41438-020-00429-3.
12. Xiao L, Shibuya T, Watanabe T, et al. Effect of light quality on metabolomic, ionomic, and transcriptomic profiles in tomato fruit. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(21):13288. DOI: 10.3390/ijms232113288.
13. Hildebrandt TM, Nesi AN, Araújo WL, et al. Amino Acid Catabolism in Plants. *Molecular Plant*. 2015;8(11):1563-1579. DOI: 10.1016/j.molp.2015.08.005.
14. Kumar V, Sharma A, Kaur R, et al. Differential Distribution of Amino Acids in Plants. *Amino Acids*. 2017;49:821-869. DOI: 10.1007/s00726-017-2401-x.
15. Wang S, Jin N, Jin L, et al. Response of tomato fruit quality depends on period of LED supplementary light. *Frontiers in nutrition*. 2022;9:833723. DOI: 10.3389/fnut.2022.833723.
16. Knyazeva IV, Panfilova O, Vershinina O, et al. The effect of nighttime LED lighting on tomato growth, yield, and nutrient content of fruits. *Horticulturae*. 2024;10(12). DOI: 10.3390/horticulturae10121259.
17. Wu G. Amino Acids in Nutrition, Health, and Disease. *Frontiers in Bioscience-Landmark*. 2021;26(12):1386-1392. DOI: 10.52586/5032.
18. Heinemann B, Hildebrandt TM. The Role of Amino Acid Metabolism in Signaling and Metabolic Adaptation to Stress-Induced Energy Deficiency in Plants. *Journal of Experimental Botany*. 2021;72(3):4634-4645. DOI: 10.1093/jxb/erab182.
19. Virsilė A, Brazaitytė A, Vaštakaitė-Kairienė V, et al. The Distinct Impact of Multi-Color LED Light on Nitrate, Amino Acid, Soluble Sugar and Organic Acid Contents in Red and Green Leaf Lettuce Cultivated in Controlled Environment. *Food Chemistry*. 2020;310:125799. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125799.

Статья принята к публикации 23.09.2025 / The article accepted for publication 23.09.2025.

Информация об авторах:

**Инна Валерьевна Князева**, старший научный сотрудник лаборатории исследований технологических свойств сельскохозяйственных материалов, кандидат биологических наук, доцент

Information about the authors:

**Inna Valeryevna Knyazeva**, Senior Researcher, Laboratory for Research on Technological Properties of Agricultural Materials, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

