

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-40-46>  
УДК:635.64:631.526

И.В. Князева<sup>1\*</sup>, Е.А. Джос<sup>2</sup>, А.В. Солдатенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)  
109428, Россия, Москва,  
1-й Институтский проезд, д. 5

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО)  
143072, Россия, Московская область,  
Одинцовский район, п. ВНИИССОК,  
ул. Селекционная, д. 14

\*Автор для переписки:  
knyazewa.inna@yandex.ru

**Вклад авторов:** И.В. Князева: проведение исследования, концептуализация, методология, создание рукописи; Е.А. Джос: редактирование; А.В. Солдатенко: руководство исследованием и ресурсы.

**Финансирование.** Исследование проведено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации FGUN-2025-0008.

**Конфликт интересов.** Солдатенко А.В. является членом редакционной коллегии журнала «Овощи России» с 2017 года, но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляют.

**Для цитирования:** Князева И.В., Джос Е.А., Солдатенко А.В. Агробιοлогические характеристики исходных форм томата для селекции в условиях закрытых агроэкосистем. *Овощи России*. 2025;(5):40-46.  
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-40-46>

**Поступила в редакцию:** 20.09.2025

**Принята к печати:** 25.10.2025

**Опубликована:** 28.10.2025

Inna V. Knyazeva<sup>1\*</sup>, Elena A. Dzhos<sup>2</sup>,  
Alexey V. Soldatenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Scientific Institution  
«Federal Scientific Agroengineering  
Center ViM» (FSAC ViM)  
5, 1<sup>st</sup> Institutskiy proezd, Moscow, Russia, 109428

<sup>2</sup>Federal State Budgetary Scientific Institution  
«Federal Scientific Vegetable Center» (FSBSI F SVC)  
14, Selektsionnaya, Odintsovo district,  
Moscow region, Russia, 143072

\*Correspondence: knyazewa.inna@yandex.ru

**Funding.** The study was conducted within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation FGUN-2025-0008."

**Authors' Contribution:** I.V. Knyazeva: study implementation, conceptualization, methodology, manuscript drafting; E.A. Dzhos: manuscript editing; A.V. Soldatenko: study supervision and resources.

**Conflict of interest.** Soldatenko A.V. has been a member of the editorial board of the Journal "Vegetable crops of Russia" since 2017, but had nothing to do with the decision to publish this manuscript. The manuscript passed the journal's peer review procedure. The authors declare no other conflicts of interest.

**Conflict of interest.** The authors declare that there is no conflict of interest.

**For citation:** Knyazeva I.V., Dzhos E.A., Soldatenko A.V. Agrobiological characteristics of the original forms of tomato for breeding in closed agroecosystems. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(5):40-46. (In Russ.)  
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-40-46>

**Received:** 20.09.2025

**Accepted for publication:** 25.10.2025

**Published:** 28.10.2025

# Агробιοлогические характеристики исходных форм томата для селекции в условиях закрытых агроэкосистем

## РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Современное сельское хозяйство сталкивается с нехваткой специализированных сортов и гибридов томата детерминантного типа роста, адаптированных к выращиванию в условиях закрытых агроэкосистем с искусственным освещением одно- временно обладающих повышенным содержанием ценных биохимических веществ, таких как витамины, аминокислоты и антиоксиданты. Решение указанной задачи предполагает активное развитие селекционного процесса, направленное на создание адаптированных гибридов и применение научно-обоснованных подходов к отбору и оценке генетического материала, что станет основой для успешной реализации интенсивных технологий выращивания овощей в закрытых агроэкосистемах. Цель работы: выявить лучшие гибриды томата отечественной селекции, пригодные для выращивания в условиях закрытой агроэкосистемы с искусственным освещением, посредством сравнительного анализа их продуктивных и биохимических характеристик.

**Материалы и методы.** Испытания проводились на 11 специально подобранных гибридах, что позволило объективно оценить их потенциал для использования в интенсивных технологиях современного овощеводства. В ходе исследования подробно оценивались морфобиометрические характеристики, динамика прироста сухой массы, интенсивность фотосинтетической активности, биохимический состав плодов и общая продуктивность гибридов. Использовали стандартные методики статистического анализа и современные подходы биооценки.

**Результаты.** Отмечено, что гибрид F<sub>1</sub> VS-21-23 оказался наиболее успешным: он характеризовался высокой продуктивностью (4,04 кг/растение), коротким периодом созревания (81 сутки), богатым аминокислотным профилем, высоким содержанием витаминов и низким уровнем нитратов (177,58 мг/кг). Остальные пять гибридов также продемонстрировали хорошую адаптацию к искусственным условиям, однако гибрид F<sub>1</sub> VS-21-23 существенно превосходил конкурентов по большинству критериев.

**Заключение.** Гибрид F<sub>1</sub> VS-21-23 является перспективным для интенсивного выращивания в условиях закрытых агроэкосистем с искусственным освещением, способным стабильно давать высокие урожаи качественной продукции.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*Solanum lycopersicum* L., продуктивность, биохимический состав, гидропоника, закрытые агроэкосистемы

# Agrobiological characteristics of the original forms of tomato for breeding in closed agroecosystems

## ABSTRACT

**Relevance.** Modern agriculture faces a shortage of specialized tomato varieties and hybrids of determinate growth type, adapted to cultivation in closed agroecosystems with artificial lighting and at the same time possessing an increased content of valuable biochemical substances, such as vitamins, amino acids and antioxidants. The solution to this problem involves the active development of the breeding process aimed at creating adapted hybrids and applying scientifically based approaches to the selection and evaluation of genetic material, which will form the basis for the successful implementation of intensive technologies for growing vegetables in closed agroecosystems. The purpose of the work: to identify the best tomato hybrids of domestic selection, suitable for cultivation in a closed agroecosystem with artificial lighting, through a comparative analysis of their productive and biochemical characteristics.

**Materials and Methods.** The tests were carried out on 11 specially selected hybrids, which made it possible to objectively assess their potential for use in intensive technologies of modern vegetable growing. The study included a detailed assessment of the morphobiometric characteristics, dry weight gain dynamics, photosynthetic activity intensity, fruit biochemical composition, and overall hybrid productivity. Standard statistical analysis techniques and modern bioassessment approaches were used.

**Results.** It was noted that the F<sub>1</sub> VS-21-23 hybrid was the most successful: it was characterized by high productivity (4.04 kg/plant), a short ripening period (81 days), a rich amino acid profile, high vitamin content, and low nitrate levels (177.58 mg/kg). The other five hybrids also demonstrated good adaptation to artificial conditions, but the F<sub>1</sub> VS-21-23 hybrid significantly outperformed its competitors by most criteria.

**Conclusion.** The F<sub>1</sub> VS-21-23 hybrid is promising for intensive cultivation in closed agroecosystems with artificial lighting, capable of consistently producing high yields of quality products.

## KEYWORDS:

*Solanum lycopersicum* L., productivity, biochemical composition, hydroponics, closed agroecosystems.



## Введение

**Т**омат (*Solanum lycopersicum* L.) характеризуется высокими показателями пищевой ценности и специфическими вкусовыми качествами, что сделало его одним из наиболее распространенных продуктов двойного назначения (овощной и фруктовый) [1]. Кроме того, ввиду своего коммерческого значения и широкого спектра генетической вариабельности, томат выступает в роли оптимальной экспериментальной модели для научных исследований, направленных на улучшение характеристик плодов [2,3].

В ходе селекции новых сортов томата основной приоритет отдавался внешним характеристикам плодов, таким как размер, форма, окраска и масса, пренебрегая такими важными аспектами, как вкусовые свойства и пищевая ценность [4,5]. Подобный подход привел к утрате некоторых ключевых показателей качества томата. Так, исследование Tieman et al. (2017) показало значительное снижение содержания 13 важных ароматических соединений, а также уменьшение концентрации лимонной кислоты и глюкозы в современных сортах томата. Однако рынок предъявляет комплексные требования к качеству продукции, включающие как внешний вид, так и вкусовые характеристики. Таким образом, углубленный анализ фенотипических признаков, химического состава и сенсорных свойств сортов томата становится необходимым условием для успешной селекции и повышения конкурентоспособности культуры [6].

В условиях закрытых агроэкосистем (интенсивной светокультуры), как правило, отдают предпочтение гибридам (F<sub>1</sub>). Рекомендуется выбирать ранние и среднеспелые сорта и гибриды томата, характеризующиеся высокой завязываемостью плодов и равномерной отдачей урожая [7]. Однако стоит отметить, что количество специализированных сортов и гибридов, целенаправленно созданных для оптимального роста в условиях искусственных осветительных установок в закрытых агроэкосистемах, остается весьма незначительным на современном рынке.

Государственный реестр селекционных достижений, допускаемых к использованию в 2025 году, содержит более 3920 зарегистрированных сортов, линий и гибридов томата, включающих как российские сорта, так и иностранные гибриды, пригодные для выращивания в различных регионах нашей страны. Специально для условий светокультуры зарегистрировано 67 гибрида (F<sub>1</sub>) преимущественно зарубежной селекции с индетерминантным типом роста [8].

Создание гибридов, адаптированных к особым контролируемым условиям климатических камер, «grow boxes», «city farms» является важным направлением селекции и способствует формированию нового генетического ресурса, обеспечивающего устойчивое развитие сельского хозяйства в закрытых агроэкосистемах с искусственным освещением.

Цель работы: выявить лучшие гибриды томата отечественной селекции, пригодные для выращивания в условиях закрытой агроэкосистемы с искусственным освещением, посредством сравнительного анализа их продуктивных и биохимических характеристик.

## Материал и методика проведения исследований

Исследование проводили в 2024-2025 годах в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ (ФНАЦ ВИМ). Объектом изучения стали 11 отечественных гибридов томата первого поколения (F<sub>1</sub>), созданных Федеральным научным центром овощеводства. Основные хозяйственно значимые характеристики исследуемых гибридов представлены в таблице 1.

Растения томата выращивали гидропонным способом по малообъемной технологии на минераловатном субстрате с капельным поливом в фитокомнате. Температура поддерживалась на уровне +22±2°C днем (во время 16-часового светового периода) и +17±2°C ночью. Относительная влажность воздуха находилась в диапазоне 65±2%. Раствор для питания готовился на основе трехкомпонентных удобрений марки GHE Flora (производства GeneralHydroponicsEurope, Франция) с pH 5,8-6,2 [9].

**Таблица 1. Основные хозяйственно-ценные признаки красноплодных гибридов томата F<sub>1</sub> в условиях открытого грунта (по данным селекционеров)**

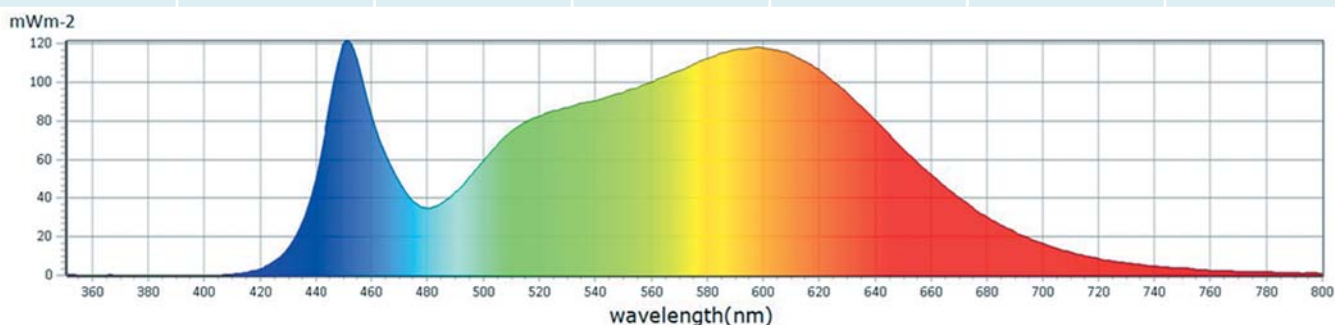
**Table 1. The main economically valuable characteristics of red-fruited tomato hybrids F<sub>1</sub> in open ground conditions (according to breeders)**

№	Гибрид F <sub>1</sub>	Хозяйственно-ценные признаки					
		срок созревания (от всходов до биологической спелости), сутки	тип растения	масса плода, г	высота растений, см	содержание сухого вещества в соке, %	продуктивность, кг
1.	1-2-20	позднеспелый (110-115)	штамбовый, детерминантный	70-90	40-45	4,5-5,0	2,5
2.	Б-16-19	позднеспелый (98-110)	детерминантный	100-120	50-55	5,0-6,0	3,5
3.	10-6-20	среднеранний (98-100)	детерминантный	120-180	55-65	5,0-6,0	3,0
4.	19-18-19	среднеранний (100-105)	штамбовый, детерминантный	100-150	40-45	5,0	2,8
5.	20-14-19	среднеранний (100-105)	детерминантный	120-140	55-65	4,5-5,0	2,0
6.	VS-21-23	очень ранний (84-90)	детерминантный	58-62	50-60	5,9-6,3	3,7
7.	VS-22-23	очень ранний (84-91)	детерминантный	62-67	55-65	5,1	3,1
8.	VS-23-23	очень ранний (83-94)	детерминантный	55-60	50-60	5,2	3,5
9.	VS-24-23	очень ранний (85-92)	детерминантный	50-55	50-60	5,0	2,7
10.	VS-25-23	очень ранний (83-90)	детерминантный	58-65	50-60	5,2	3,1
11.	VS-26-23	очень ранний (85-94)	детерминантный	50-55	55-60	5,5	2,1

Таблица 2. Среднее значение ПФП, поступающее от светодиодов в каждой из зон спектра: синей (400-500 нм), зеленой (500-600 нм) и красной (600-700 нм)

Table 2. Average value of the PFP coming from LEDs in each of the spectrum zones: blue (400-500 nm), green (500-600 nm) and red (600-700 nm)

Спектр освещения	Поток фотонов, мкмоль м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup>					Процентный состав света (B:G:R:FR)
	ПФП λ= 400-800 нм	Синий (B)	Зеленый (G)	Красный (R)	Дальний красный (FR)	
СИД – W белый	139,9±2,5	23,8±1,3	63,2±3,2	52,9±3,0	0,01±0,01	17:45:38:0



В исследовании использовался источник освещения на основе светодиодов. Характерной особенностью светового излучения белых светодиодов является значительное присутствие зеленой области спектра. Показатель плотности фотонного потока (ПФП) составлял ~250,1 мкмоль м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup> (таблица 2).

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

Высоту растений измеряли на разных фазах роста и развития побегов от верхушки до поверхности субстрата с помощью технической линейки с точностью до 0,1 мм. Массу плода определяли с помощью аналитических весов EX224/AD (OHAUS, USA).

Учеты и наблюдения за растениями проведены по общепринятым методикам [10]. Массовую долю сухого вещества определяли методом высушивания навески до постоянной массы в сушильном шкафу Memmert UN-450 (Германия) при температуре +105°C (ГОСТ 28561-90).

Содержание хлорофилла а (Хл. а), хлорофилла b (Хл. b) и каротиноидов (Кар.) определялось спектрофотометрическим методом в ацетоне при длинах волн 662 нм, 644 нм и

440,5 нм соответственно. Для измерений использовали UV-2200 с двойной УФ-видимой областью (UV/VIS) (Китай) [11].

Содержание витамина С определяли путем титрования 2,6-дихлорфенолом натрия индофенолатом [12, 13]. Общее количество растворимых сухих веществ в соке определяли рефрактометрическим методом [14, 15]. Для измерений использовался рефрактометр Atago Pal-1 (Япония).

Определение массовой доли 20 аминокислот и нитратов (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), 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. Для определения нитратов готовили водную вытяжку.

Статистическую обработку результатов проводили с применением дисперсионного анализа (ANOVA) в программе MS Excel. В качестве posthoc теста использовали тест Дункана.

## Результаты

Создание гибридов, адаптированных к особым климатическим условиям, является важным направлением селекции

Таблица 3. Динамика длины побегов гибридов томата в условиях закрытой агроэко системы. Разные буквы обозначают статистически значимые различия между группами (p<0,05)

Table 3. Dynamics of shoot length of tomato hybrids in a closed agroecosystem. Different letters indicate statistically significant differences between groups (p<0.05)

№	F <sub>1</sub>	Фазы развития гибридов томата			
		4-6 настоящих листьев	начало цветения	массовый налив	созревание (биологическая спелость)
1.	1-2-20	13,25±0,65d	26,10±0,42c	34,00±1,63d	60,25±2,36d
2.	Б-16-19	17,78±0,84b	46,13±1,84a	62,75±2,63b	97,75±2,50c
3.	10-6-20	18,38±1,03b	44,85±1,65a	70,00±4,76ab	105,75±2,99b
4.	19-18-19	13,05±0,42e	24,43±0,82d	32,50±1,29d	51,0±2,56e
5.	20-14-19	21,0±1,29a	44,95±2,11a	71,25±1,71a	128,0±3,16a
6.	VS-21-23	12,05±0,53e	23,25±1,04d	30,25±2,06d	50,75±2,50e
7.	VS-22-23	11,88±0,48e	23,75±1,40d	31,0±2,16d	63,25±2,99d
8.	VS-23-23	15,68±0,77c	37,38±2,15b	56,25±3,59c	94,75±3,40c
9.	VS-24-23	16,25±1,04bc	39,23±1,26b	58,25±2,62bc	104,75±3,86b
10.	VS-25-23	12,03±0,51e	24,53±0,81d	34,00±2,16d	55,25±2,22e
11.	VS-26-23	12,05±0,53e	25,55±0,56cd	27,25±0,96e	54,0±2,58e



и способствует формированию нового генетического ресурса, обеспечивающего устойчивое развитие сельского хозяйства в закрытых агроэкосистемах с искусственным освещением.

Экспериментальные данные дали возможность сопоставить ключевые показатели роста каждого гибрида и установить уровень их адаптивности к условиям закрытой агроэкосистемы с применением искусственного освещения. Таблица 3 наглядно отображает динамику изменений ростовых характеристик исследованных гибридов томата на разных этапах их развития – от начала активного роста до достижения полной биологической спелости.

Во всех фазах развития длина побегов постепенно увеличивается от начальных этапов (4-6 настоящих листьев) до момента полного созревания (биологическая спелость). Это подтверждает закономерность нормального роста растений. Гибрид (20-14-19) показал наибольшую длину побегов практически на всех этапах развития, достигнув максимальной величины (128 см) к моменту полной биологической спелости. Этот гибрид может считаться наиболее эффективным для интенсивного производства томата в тепличных условиях, тогда как применение в специализированных климатических камерах или стеллажных системах, закрытых агроэкосистем с ограниченными пространственными ресурсами, становится менее целесообразным. Наиболее медленно развивались гибриды 19-18-19, VS-21-23, VS-25-23 и VS-26-23. Их низкая скорость роста (до 55 см) может свидетельствовать либо о слабой адаптации к условиям закрытой экосистемы, либо о специфической генетике, направленной на формирование компактных кустов. Среднерослые гибриды VS-23-23 и VS-24-23 могут служить базой для разработки новых высокопроизводительных линий путем селекции и скрещивания с наиболее эффективными исходными формами.

Наиболее высокое содержание хлорофилла *a* наблюдалось у гибрида (19-18-19) – 2,37 мг/г, что отражает его способность эффективно поглощать энергию свето-

диодного излучения белого спектра. Другие гибриды 1-2-20, 10-6-20, 20-14-19, VS-21-23 и VS-25-23 показывали схожее количество хлорофилла *a*, находясь в пределах от 2,04 до 2,20 мг/г.

Максимальное содержание хлорофилла *b* и сумма хлорофиллов выявлены у гибрида (19-18-19) демонстрирующего эффективное преобразование световой энергии. Концентрация хлорофилла *b* у гибридов (1-2-20, 10-6-20, 19-18-19), (VS-21-23) и (VS-25-23) находилась на стабильно высоком уровне, достигая 1,03 мг/г. Это подтверждает высокую эффективность фотосинтетической активности данных гибридов, способствующую интенсивному росту и развитию растений. Данные показатели являются положительным фактором для дальнейшего селекционного отбора и внедрения указанных гибридов в сельскохозяйственное производство. У гибридов VS-22-23, VS-23-23, VS-24-23 и VS-26-23 наблюдался дефицит хлорофилла *b* и общей суммы хлорофиллов. Каротиноиды обеспечивающие защиту клеток от избытка света, их наибольшее содержание отмечено у гибридов Б-16-19, 10-6-20, 19-18-19, 20-14-19, VS-21-23 и VS-25-23, а минимум – у VS-22-23.

В результате проведенного исследования динамики роста и накопления фотосинтетических пигментов у 11 гибридов томата, для последующего выращивания в закрытых агроэкосистемах с целью получения урожая плодов были выбраны гибриды VS-21-23, VS-22-23, VS-23-23, VS-24-23, VS-25-23 и VS-26-23 (табл. 5).

Среди исследованных гибридов томата максимальная средняя масса плодов была зарегистрирована у двух гибридов: VS-23-23 отличился плодами средней массой около 65,56 г, а гибрид VS-22-23 также проявил высокую продуктивность с массой плода порядка 58,92 г. Напротив, наименьшую среднюю массу плода показали два других гибрида: VS-26-23 с минимальной величиной около 25,06 г и VS-24-23, плоды которого имели среднюю массу приблизительно 30,72 г. Таким образом, выявленные отличия свидетельствуют о значительных различиях в массе плодов, зависящих от конкретного гибрида.

**Таблица 4. Накопление фотосинтетических пигментов в листьях гибридов томата, выращенных в условиях закрытой агроэкосистемы. Разные буквы обозначают статистически значимые различия между группами ( $p < 0,05$ )**  
**Table 4. Accumulation of photosynthetic pigments in leaves of tomato hybrids grown in a closed agroecosystem. Different letters indicate statistically significant differences between groups ( $p < 0,05$ )**

№	F <sub>1</sub>	Количество фотосинтетических пигментов, мг/г			
		хлорофилл, <i>a</i>	хлорофилл <i>b</i>	сумма хлорофиллов( <i>a+b</i> )	каротиноиды
1.	1-2-20	2,04±0,10bc	0,97±0,06bc	3,01±0,15bc	0,48±0,03c
2.	Б-16-19	1,80±0,05d	1,0±0,05bc	2,80±0,10c	0,58±0,04ab
3.	10-6-20	2,08±0,09bc	1,03±0,04b	3,11±0,12b	0,60±0,03a
4.	19-18-19	2,37±0,02a	1,10±0,03a	3,47±0,05a	0,61±0,03a
5.	20-14-19	2,11±0,03b	0,91±0,03c	3,02±0,07b	0,56±0,04ab
6.	VS-21-23	2,04±0,05bc	0,93±0,06bc	2,98±0,11bc	0,54±0,02b
7.	VS-22-23	1,76±0,07d	0,70±0,05e	2,46±0,12d	0,39±0,02d
8.	VS-23-23	1,97±0,04c	0,83±0,03d	2,80±0,08c	0,47±0,03c
9.	VS-24-23	1,94±0,08c	0,82±0,03d	2,76±0,11c	0,49±0,03c
10.	VS-25-23	2,20±0,14b	0,93±0,05b	3,13±0,19b	0,57±0,03ab
11.	VS-26-23	1,75±0,09d	0,78±0,03de	2,53±0,12d	0,45±0,02c

**Таблица 5. Продуктивность гибридов томата, выращенных в условиях закрытой агроэкосистемы.**  
*Разные буквы обозначают статистически значимые различия между группами ( $p < 0,05$ )*  
**Table 5. Productivity of tomato hybrids grown in a closed agroecosystem.**  
*Different letters indicate statistically significant differences between groups ( $p < 0.05$ )*

№	F <sub>1</sub>	Масса плода, г	Продуктивность, кг	От всходов до биологической спелости, сутки
1.	VS-21-23	51,54±4,05b	4,04±0,21a	81,0±2,0b
2.	VS-22-23	58,92±4,18ab	3,49±0,27b	85,0±2,0a
3.	VS-23-23	65,56±2,36a	3,95±0,06a	85,0±2,0a
4.	VS-24-23	30,72±1,93c	3,10±0,09c	86,0±2,0a
5.	VS-25-23	51,80±2,10b	3,68±0,16ab	83,0±2,0ab
6.	VS-26-23	25,06±0,50d	2,26±0,09d	82,0±2,0ab

По результатам испытаний, наибольшую продуктивность показали гибриды VS-21-23 и VS-23-23, каждый из которых принес в среднем 4,04 кг и 3,95 кг плодов соответственно. Среди наименее производительных оказались гибриды VS-26-23 и VS-24-23, составили лишь 2,26 кг и 3,10 кг соответственно.

Время от появления всходов до достижения полной биологической спелости оказалось минимальным у гибрида VS-21-23 – всего 81,0 суток. Остальные гибриды требовали практически равное время для завершения процесса созревания, которое колебалось в диапазоне от 82,0 до 86,0 суток. Исключением стал гибрид VS-24-23, чья длительность цикла до биологической спелости составила 86,0 суток, однако это небольшое увеличение срока не оказало значимого влияния на общий вывод.

Провели исследование биохимического состава плодов шести гибридов томата, выращенных в закрытой агроэкосистеме. Целью данного анализа стало выявление существенных различий в качественном составе плодов и отбор наиболее перспективных форм для закрытых агроэкосистем с искусственным освещением (табл. 6).

Содержание растворимого сухого вещества (оВх) служит важным показателем сладости и сочности плодов томата. Из представленных гибридов максимальное значение Brix – 9,98% – выявлено у гибрида VS-25-23. Кроме того, гибрид VS-21-23 также обладал достаточно высоким содержанием растворимых сухих веществ, составляя 7,93%, что способствовало хорошему вкусу и сочности плодов. Средний уровень оВх, характерен для гибридов VS-23-23 (6,60%) и VS-26-23

**Таблица 6. Содержание растворимых сухих веществ (оВх), сухого вещества, витамина С и ликопина в плодах гибридов томата, выращенных в условиях закрытой агроэкосистемы. Разные буквы обозначают статистически значимые различия между группами ( $p < 0,05$ )**  
**Table 6. Content of soluble solids (Brix), solids, vitamin C and lycopene in fruits of tomato hybrids grown in a closed agroecosystem.**  
*Different letters indicate statistically significant differences between groups ( $p < 0.05$ )*

№	F <sub>1</sub>	Brix, %	Сухое вещество, %	Витамин С, мг/100 г	Ликопин, мг/100 г
1.	VS-21-23	7,93±0,73b	6,58±0,08a	21,65±0,72a	4,19±0,12a
2.	VS-22-23	5,37±0,37d	5,24±0,21b	17,83±0,61c	3,70±0,13b
3.	VS-23-23	6,60±0,57c	6,24±0,39a	19,61±0,96b	4,0±0,11a
4.	VS-24-23	5,18±0,22d	5,37±0,13b	18,87±0,64bc	3,59±0,16b
5.	VS-25-23	9,98±0,25a	6,36±0,31a	20,85±0,42ab	4,03±0,13a
6.	VS-26-23	6,81±0,28c	5,53±0,28b	20,36±1,31ab	3,18±0,09c

Таблица 7. Содержание нитратов в плодах гибридов томата, выращенных в условиях закрытой агроэкосистемы.  
 Разные буквы обозначают статистически значимые различия между группами ( $p < 0,05$ )  
 Table 7. Nitrate content in fruits of tomato hybrids grown in a closed agroecosystem.  
 Different letters indicate statistically significant differences between groups ( $p < 0.05$ )

№	F <sub>1</sub>	Содержание нитратов в съедобной части, мг/кг	
		Исследуемые образцы	Требования ТРТС 021/2011
1.	VS-21-23	177,58±6,02b	300
2.	VS-22-23	181,04±3,66b	
3.	VS-23-23	184,80±5,12ab	
4.	VS-24-23	175,47±7,02b	
5.	VS-25-23	169,66±3,13b	
6.	VS-26-23	188,81±2,01a	

(6,81%), что означает умеренно сладкий вкус плодов. Гибриды VS-22-23 (5,37%) и VS-24-23 (5,18%) обладали самыми низкими показателями Brix, что соответствует пониженной сладости и интенсивности вкуса.

Самую высокую концентрацию витамина С продемонстрировал гибрид VS-21-23, содержащий в среднем 21,65 мг/100 г, что существенно повышало пищевую ценность плодов. Высокая концентрация витамина С также характерна была для гибридов VS-25-23 (20,85 мг/100 г) и VS-26-23 (20,36 мг/100 г). Однако значительно меньше витамина содержали плоды гибридов VS-22-23 (17,83 мг/100 г) и VS-24-23 (18,87 мг/100 г), что снижает их привлекательность с точки зрения витаминизации продуктов питания.

Самым богатым источником ликопина оказался гибрид VS-21-23, который содержал наибольшее количество этого ценного антиоксиданта – 4,19 мг/100 г. Благодаря таким показателям, плоды этого гибрида особенно полезны для здоровья и способствуют повышению биологической активности организма. Высокое содержание ликопина также было отмечено у гибридов VS-23-23 (4,0 мг/100 г) и VS-25-23 (4,03 мг/100 г). Гибрид №6 VS-26-23 продемонстрировал наименьшую концентрацию ликопина, достигая значений 3,18 мг/100 г, что ограничивает его потенциал в обеспечении организма важными природными антиоксидантами.

Анализ показал наличие статистически значимых различий в уровнях накопления нитратов между изучаемыми гибридами томата. Уровень нитратов у всех гибридов оставался в рамках установленных санитарных норм (табл. 7). Гибрид VS-25-23 показал минимальный уровень нитратов – 169,66±3,13 мг/кг, гарантируя полную безопасность продукта. Наибольшее содержание нитратов, близко к верхней границе нормы, обнаружено у гибрида VS-26-23 (188,81 мг/кг), что подчеркивает необходимость внимательного контроля над условиями выращивания и внесением удобрений для предотвращения риска избыточного накопления нитратов.

Анализ биохимических характеристик шести гибридов томата, выращенных в условиях управляемой агроэкосистемы, выявил заметные преимущества гибридов VS-21-23 и VS-25-23. По совокупности свойств – высоким содержанием растворимых сухих веществ (оВх), сухого вещества, витамина С и ликопина – эти гибриды продемонстрировали значительный качественный потенциал. Дополнительным преимуществом указанных форм является низкий уровень нитратов (169,7–177,6 мг/кг), что определяет их приоритетность для масштабного внедрения в производственные системы с регулируемым микроклиматом и искусственным освещением закрытых агроэкосистем.

### Заключение

В результате исследования морфологических, биохимических и физиологических характеристик 11 гибридов томата, выращенных в условиях закрытой агроэкосистемы с искусственным освещением, выявлены существенные различия по темпам роста, продуктивности и биохимическому составу плодов.

Лучшими показателями продуктивности, качественного состава плодов и низким уровнем нитратов отличались гибриды VS-21-23 и VS-25-23, что делает их приоритетными для выращивания в закрытых агроэкосистемах. Гибрид (19-18-19) выделяется высоким содержанием хлорофилла а, демонстрируя отличную способность усваивать световую энергию. Полученные данные формируют основу для оптимизации агротехнологий и разработки практических рекомендаций по выращиванию томата в условиях закрытых агроэкосистем с искусственным освещением.

Учитывая биологические особенности томата и условия выращивания в закрытых агроэкосистемах, селекционное направление следует ориентировать на создание супердетерминантных гибридов генеративного типа развития, при котором процессы плодоношения преобладают над вегетативным ростом. Плоды томата должны быть среднего размера, обладать хорошими товарными качествами и высоким содержанием полезных веществ.

## • Литература

1. Yang Y., Luo J., Tang Y., Li Z., Yang L., Gao J. Comparative evaluation of appearance and nutritional qualities of 57 tomato (*Solanum lycopersicum* L.) accessions. *Horticulturae*. 2025;11(7):796. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11070796>
2. Князева И.В., Вершинина О.В., Титенков А.В., Джос Е.А. Биодобрение и освещение как факторы, влияющие на рост, развитие и биохимический состав томатов. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2023;53:22-30. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-5-3> <https://www.elibrary.ru/pzipbd>
3. Cai W.Q., Jiang P.F., Liu Y., Miao X.Q., Liu A.D. Distinct changes of taste quality and metabolite profile in different tomato varieties revealed by LC-MS metabolomics. *Food Chemistry*. 2024;442:138456. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138456>
4. Sierra-Orozco E., Shekasteband R., Illa-Berenguer E., Snouffer A., van der Knaap E., Lee T.G., Hutton S.F. Identification and characterization of GLOBE, a major gene controlling fruit shape and impacting fruit size and marketability in tomato. *Horticulture Research*. 2021;8. <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00574-3>
5. Chang Y., Zhang X., Wang C., Ma N., Xie J., Zhang J. Fruit quality analysis and flavor comprehensive evaluation of cherry tomatoes of different colors. *Foods*. 2024;13(12):1898. <https://doi.org/10.3390/foods13121898>
6. Tieman D., Zhu G., Resende Jr M.F., Lin T., Nguyen C., Bies D., Klee H. A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor. *Science*. 2017;355(6323):391-394. <https://doi.org/10.1126/science.aal1556>
7. Король В.Г. Гибриды томата, рекомендуемые для выращивания в условиях светокультуры. *Овощи России*. 2021;(4):71-77. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-71-77> <https://www.elibrary.ru/lojeod>
8. Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию. Москва: Минсельхоз России; 2025. URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyutom-1-sorta-rasteni> (дата обращения: 08.08.2025).
9. Измайлов А.Ю., Князева И.В., Журавлева Е.В., Вершинина О.В. Агротехнологические приемы в селекции для закрытых агроэкосистем: методические рекомендации. М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2025. 58 с.
10. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: Россельхозакадемия, 2011. 649 с.
11. Третьяков Н. Практикум по физиологии растений. Количественное определение пигментов. М.: Агропромиздат, 1990. С. 86-94.
12. AOAC. Official Methods of Analysis, Volume 1, Association of Official Agricultural Chemists; AOAC: Washington, DC, USA, 1990.
13. Patane C., Pellegrino A., Saita A., Siracusa L., Ruberto G., Barbagallo R. Mediterranean long storage tomato as a source of novel products for the agrifood industry: Nutritional and technological traits. *LWT-Food Sci. Technol.* 2017;(85):445-448. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.011>
14. AOAC. The official methods of analysis of the association of official analytical chemists international. 22nd ed. Vitamin C. AOAC: Washington, DC, USA, 2012.
15. Голубкина Н.А., Кекина Е.Г., Молчанова А.В., Антошкина М.С., Надеждин С.М., Солдатенко А.В. Антиоксиданты растений и методы их определения. Москва: ИНФРА-М, 2020. 181 с. <https://www.elibrary.ru/vlnauj>

## Об авторах:

**Инна Валерьевна Князева** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-1065-1814>, SPIN-код: 4850-8967, автор для переписки, [knyazewa.inna@yandex.ru](mailto:knyazewa.inna@yandex.ru)

**Елена Алексеевна Джос** – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-2216-0094>, SPIN-код: 3677-0025, [elenadzhos@mail.ru](mailto:elenadzhos@mail.ru)

**Алексей Васильевич Солдатенко** – доктор с.-х. наук, академик РАН, главный научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-9492-6845>, SPIN-код: 7900-4819, [alex-soldat@mail.ru](mailto:alex-soldat@mail.ru)

## • References

1. Yang Y., Luo J., Tang Y., Li Z., Yang L., Gao J. Comparative evaluation of appearance and nutritional qualities of 57 tomato (*Solanum lycopersicum* L.) accessions. *Horticulturae*. 2025;11(7):796. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11070796>
2. Knyazeva I.V., Vershinina O.V., Titenkov A.V., Dzhos E.A. Biofertilizer and lighting as factors influencing the growth, development and biochemical composition of tomatoes. *Siberian herald of agricultural science*. 2023;53:22-30. (In Russ.) <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-5-3> <https://www.elibrary.ru/pzipbd>
3. Cai W.Q., Jiang P.F., Liu Y., Miao X.Q., Liu A.D. Distinct changes of taste quality and metabolite profile in different tomato varieties revealed by LC-MS metabolomics. *Food Chemistry*. 2024;442:138456. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138456>
4. Sierra-Orozco E., Shekasteband R., Illa-Berenguer E., Snouffer A., van der Knaap E., Lee T.G., Hutton S.F. Identification and characterization of GLOBE, a major gene controlling fruit shape and impacting fruit size and marketability in tomato. *Horticulture Research*. 2021;8. <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00574-3>
5. Chang Y., Zhang X., Wang C., Ma N., Xie J., Zhang J. Fruit quality analysis and flavor comprehensive evaluation of cherry tomatoes of different colors. *Foods*. 2024;13(12):1898. <https://doi.org/10.3390/foods13121898>
6. Tieman D., Zhu G., Resende Jr M.F., Lin T., Nguyen C., Bies D., Klee H. A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor. *Science*. 2017;355(6323):391-394. <https://doi.org/10.1126/science.aal1556>
7. Korol V.G. Tomato hybrids recommended for growing in photoculture conditions. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(4):71-77. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-71-77> <https://www.elibrary.ru/lojeod>
8. State Register of Varieties and Hybrids of Agricultural Plants Approved for Use. Moscow: Ministry of Agriculture of the Russian Federation; 2025. URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyutom-1-sorta-rasteni> (accessed: 08.08.2025). (In Russ.)
9. Izmailov A.Yu., Knyazeva I.V., Zhuravleva E.V., Vershinina O.V. Agrotechnological Methods in Breeding for Closed Agroecosystems: Methodological Recommendations. Moscow: FGBNU FNAC VIM, 2025. –58 p. (In Russ.)
10. Litvinov S.S. Methodology for field testing in vegetable cultivation. Moscow: Rosselkhozakademiya, 2011. 649 p. (In Russ.)
11. Tretyakov N. Workshop on Plant physiology - 3rd ed., // Quantitative determination of pigments. M.: Agropromizdat, 1990. P. 86-94. (In Russ.)
12. AOAC. Official Methods of Analysis, Volume 1, Association of Official Agricultural Chemists; AOAC: Washington, DC, USA, 1990.
13. Patane C., Pellegrino A., Saita A., Siracusa L., Ruberto G., Barbagallo R. Mediterranean long storage tomato as a source of novel products for the agrifood industry: Nutritional and technological traits. *LWT-Food Sci. Technol.* 2017;(85):445-448. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.011>
14. AOAC. The official methods of analysis of the association of official analytical chemists international. 22nd ed. Vitamin C. AOAC: Washington, DC, USA, 2012.
15. Golubkina N.A., Kekina E.G., Molchanova A.V., Antoshkina M.S., Nadezhkin S.M., Soldatenko A.V. Plant antioxidants and methods for their determination: monograph. Moscow: INFRA-M, 2020. 181 p. <https://www.elibrary.ru/vlnauj> (In Russ.)

## About the Authors:

**Inna V. Knyazeva** – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-1065-1814>, SPIN code: 4850-8967, Corresponding Author, [knyazewa.inna@yandex.ru](mailto:knyazewa.inna@yandex.ru)

**Elena A. Dzhos** – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-2216-0094>, SPIN-code: 3677-0025, [elenadzhos@mail.ru](mailto:elenadzhos@mail.ru)

**Alexey V. Soldatenko** – Dr. Sci. (Agriculture), Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-9492-6845>, SPIN-code: 7900-4819, [alex-soldat@mail.ru](mailto:alex-soldat@mail.ru)