



БИОУДОБРЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ КАК ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РОСТ, РАЗВИТИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТОМАТОВ

✉ Князева И.В.¹, Вершинина О.В.¹, Титенков А.В.¹, Джос Е.А.²

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ

Москва, Россия

²Федеральный научный центр овощеводства

пос. ВНИИССОК, Московская область, Россия

✉ e-mail: knyazewa.inna@yandex.ru

Проведено комплексное исследование роста и биохимического состава растений томатов сорта Благодатный, выращенного с использованием спор бактерий *Bacillus cereus* (штамм 96) при непрерывном светодиодном освещении на основе полного спектра фотонов в пропорции В : G : R : FR ~ 17 : 23 : 43 : 17. В качестве контроля использованы растения, выращенные с помощью натриевых ламп высокого давления (HPS) без действия бактериальной культуры. Изучен ряд параметров, отражавших рост растений и качество плодов томатов, – содержание фотосинтетических пигментов, сухих веществ и органических кислот. Показано, что в течение вегетационного периода томаты, выращиваемые под светодиодным освещением, отличались большей длиной побега по сравнению с растениями в натриевом варианте. Действие бактерий проявилось при созревании плодов с достоверно значимыми различиями как при натриевом, так и при светодиодном освещении. Влияние сухих веществ под действием бактерий на растения, выращенные с использованием натриевого освещения, не отличалось от контрольного варианта. Наблюдаемые различия стали более выраженными и достоверно значимыми у растений при светодиодном освещении. Применение бактериальной культуры *B. cereus* способствовало увеличению концентрации хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов по сравнению с контролем. При оценке действия разных типов светового освещения и использования бактерий *B. cereus* на накопление органических кислот в плодах установлено, что светодиодное освещение оказывало лучшее воздействие на синтез органических кислот. Растения томатов, обработанные *B. cereus*, отличались формированием плодов с большим содержанием янтарной, яблочной и лимонной кислот с натриевым типом освещения. При анализе плодов томатов, выращенных под светодиодным освещением, отмечено изменение в накоплении только янтарной кислоты. Использование разных источников освещения и биоудобрений вызвало изменения в развитии растений томатов в условиях климатических камер.

Ключевые слова: томаты, микроорганизмы, гидропоника, освещение, пигменты, органические кислоты

BIOFERTILIZER AND LIGHTING AS FACTORS AFFECTING TOMATO GROWTH, DEVELOPMENT AND BIOCHEMICAL COMPOSITION

✉ Knyazeva I.V.¹, Vershinina O.V.¹, Titenkov A.V.¹, Jos E.A.²

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM

Moscow, Russia

²Federal Scientific Vegetable Center

VNISSOK settlement, Moscow region, Russia

✉ e-mail: knyazewa.inna@yandex.ru

A comprehensive study of growth and biochemical composition of the Blagodatny variety tomato plants grown with the use of bacterial spores *Bacillus cereus* strain 96 under continuous LED lighting

based on full spectrum photons in the proportion B: G: R: FR ~ 17: 23: 43: 17 was conducted. Plants grown with high-pressure sodium lamps (HPS) without bacterial culture action were used as controls. A number of parameters reflecting plant growth and quality of tomato fruits were studied - the content of photosynthetic pigments, dry matter and organic acids. It was shown that during the growing season, tomato plants grown under LED illumination had a longer shoot length compared to the plants in the sodium variant. The action of the bacteria manifested itself during fruit ripening with significant differences under both sodium and LED lighting. The effect of dry matter under the influence of bacteria on the plants grown with sodium lighting did not differ from the control variant. The observed differences became more pronounced and reliably significant in the plants under LED lighting. Application of *B. cereus* bacterial culture increased the concentration of chlorophylls a, b and carotenoids compared to the control. When evaluating the effect of different types of lighting and the use of *B. cereus* bacteria on the accumulation of organic acids in fruits, it was found that LED lighting had a better effect on the synthesis of organic acids. Tomato plants treated with *B. cereus* were distinguished by the formation of fruits with a high content of succinic, malic and citric acids with a sodium type of lighting. When analyzing the fruits of tomato plants grown under LED lighting, a change in the accumulation of only succinic acid was noted. The use of different lighting sources and biofertilizers caused changes in the development of tomato plants under climate chamber conditions.

Keywords: tomatoes, microorganisms, hydroponics, lighting, pigments, organic acids

Для цитирования: Князева И.В., Вершинина О.В., Титенков А.В., Джос Е.А. Биодоброение и освещение как факторы, влияющие на рост, развитие и биохимический состав томатов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 5. С. 22–30. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-5-3>

For citation: Knyazeva I.V., Vershinina O.V., Titenkov A.V., Jos E.A. Biofertilizer and lighting as factors affecting tomato growth, development and biochemical composition. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 5, pp. 22–30. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-5-3>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Современное гидропонное овощеводство ориентируется на создание новых экологически безопасных и энергосберегающих технологий [1]. На вертикальных фермах закрытого типа (PFAL) освещение выступает одним из наиболее важных факторов окружающей среды для выращивания растений в контролируемых условиях. Оно является не только источником энергии для фотосинтеза, но и сигналом для множества физиологических реакций, оказывая огромное влияние на морфологию растений, скорость роста, плодоношение, цветение, вкус, цвет, содержание питательных веществ, метаболитов и общее состояние растений [2]. В настоящее время светодиодное освещение стало оптимальным источником освещения из-за многочисленных преимуществ, в том числе из-за узкополосной длины волны, длительного срока

службы и высокой световой эффективности. По сравнению с натриевой лампой высокого давления (HPS) и люминесцентной лампой, двумя распространенными типами ламп, используемых в сельском хозяйстве, светодиод обеспечивает высокий уровень спектральной настройки [3, 4].

Различные исследования показали, что контролируемое количество света улучшает качество продукции после уборки и срок хранения урожая, стимулируя выработку питательных веществ и биоактивных соединений. Биоактивные соединения в растениях известны как первичные или вторичные метаболиты, которые придают растениям аромат, цвет и вкус [5]. Meng et al. [6] отметили, что салат-латук, выращенный на закрытой ферме с контролируемым спектром освещения, дает более сладкий, ароматный и приемлемый вкус по сравнению с салатом, выра-

ценным при естественном солнечном свете в теплицах.

Применение эндофитных бактерий, стимулирующих рост растений PGPEB (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria), предлагает экологичный подход за счет частичной замены (25–50%) минеральных удобрений NPK для улучшения производства сельскохозяйственных культур, повышения урожайности, а также получения высококачественных растений для питания человека [7]. Использование смеси бактериальных биоудобрений, включая *Bacillus* sp., снижает рекомендуемую дозу химических удобрений и позволяет улучшать физико-химические показатели для ряда овощных культур. Биопрепараты на основе органических кислот или бактерий применяют для предпосевной обработки семян, а также непосредственно вносят в почву/субстрат в зависимости от особенностей возделываемой культуры и от препаративной формы удобрения [8–11].

Согласно исследованиям Alaaeldin A. Helaly и др. [12], применение штамма AP-51 *Bacillus cereus* на растениях капусты способствовало получению достоверно значимых различий в вегетативном росте, включая длину растения, количество листьев и площади листьев, по сравнению с контролем и двумя другими штаммами бактерий AP-28 *Pseudomonas koreensis*, AP-29 *Ralstonia pickettii*.

Оптимизация системы освещения, разработка световой формулы и стратегии управления окружающей среды могут увеличить накопление биомассы за счет максимизации эффективности фотосинтеза и значительно повысить накопление продуктов фотосинтеза, что важно для урожайности и качества сельскохозяйственных культур [13].

Цель исследований – изучить влияние бактерий *Bacillus cereus* на развитие и накопление биологически активных веществ в растениях томатов, выращенных при светодиодном и натриевом освещении.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Опыты по изучению влияния освещения и бактериальной культуры на рост растений и качество плодов томатов проводили в 2021,

2022 гг. в отделе закрытых искусственных агроэкосистем для растениеводства на базе Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (Москва).

Объектом исследований выбран сорт Благодатный селекции Федерального научного центра овощеводства. Сорт отличается среднеранним развитием – от массовых всходов до созревания 98–107 сут, детерминантным типом. В плодах содержится сухих веществ до 6% и общего сахара – 3,5%. Рекомендуются для свежего потребления, консервирования и засолки.

Споры бактерий *Bacillus cereus* приобретены в ГУП «Московский городской центр дезинфекции». Приобретенный материал представлял высушенные споры бактерий штамма 96. В стерильных условиях в пробирку Эппендорфа (1,5 мл), содержащую споры бактерий, вносили по 0,5 мл питательной среды и инкубировали в термостате в течение 24–48 ч при температуре 37 °C до полного изменения цвета среды. Полученную суспензию применяли в качестве биоудобрения.

Биоудобрение вносили экзогенно один раз за вегетационный период томатов на ранних стадиях развития растений (формирование 3–4 листьев). В прикорневую часть растений томатов вводили суспензию спор *B. cereus* в концентрации 10³ КОЕ. Контролем служили растения без добавления бактериальной культуры. Эксперимент включал 4 варианта, в каждом варианте – по 16 растений (см. табл. 1).

Растения томатов выращивали гидропонным способом по малообъемной технологии с капельным поливом в климатической камере производства ВИМ (Россия). При проведении эксперимента в камере выдерживались

Табл. 1. Схема эксперимента

Table 1. Scheme of the experiment

№ п/п	Вариант опыта	Тип излучения
1	Контроль – без обработки растений бактериями	Натриевое (далее Na)
2	Растения, обработанные бактериями	Светодиодное (далее LED)
3	Контроль – без обработки растений бактериями	
4	Растения, обработанные бактериями	

следующие условия: температурный режим днем поддерживали в пределах 22–24 °С, ночью – 14–16 °С при 16-часовом световом дне и относительной влажности воздуха 60–65%.

Для проведения исследований использовали спектр светодиодного освещения с освещенностью на уровне растений 13 900 лк и суммарной ФАР 278 ммоль / (м² · с): синий/blue (47,9 ммоль / (м² · с)), зеленый/green (62,5 ммоль / (м² · с)), красный/red (119,3 ммоль / (м² · с)), дальний красный/far red (48,3 ммоль / (м² · с)) – в пропорции В : G : R : FR ~ 17 : 23 : 43 : 17 (см. рис. 1).

В качестве контрольного источника освещения использованы две натриевые трубчатые лампы (ДНАТ-600, цвет желтый) и одна металлогалогенная лампа (ДРИ-600/4К, цвет белый). Освещенность на уровне растений составила 13 900 лк, ФАР – 270 ммоль / (м² · с).

Измерения плотности потока фотонов и спектрального состава излучения проводили с помощью прибора МК350D Compact Spectrometer (UPRtek Corp. Miaoli County, Taiwan). Количественное содержание основных пигментов (хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов) в листьях томатов определяли на спектрофотометре Спекс ССП-705М (Россия). Концентрацию пигментов рассчитывали для 100%-го ацетона по уравнению Хольма–Веттштейна. Определение сухого вещества – методом высушивания навески до постоянной массы в сушильном шкафу Memmert UN-450 (Германия) по ГОСТ 28561–90. Общую титруемую кислотность в плодах томата

определяли по ГОСТ ISO 750–2013. Определение индекса Brix (Брикс) в плодах томатов проводили на рефрактометре Atago Pal-1 (Japan). Определение содержания органических кислот в плодах томатов проводили методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель-205» (Россия).

Полученные результаты обрабатывали статистически с помощью дисперсионного анализа ANOVA, используя STADIA 8.0 (Россия). Достоверные различия между средними рассчитывали с помощью теста Дункана при уровне вероятности $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Интенсивность линейного роста растений зависит от сортовых особенностей культуры, условий выращивания и режима питания. На рис. 2 представлена диаграмма прироста длины побегов растений томатов по фазам развития. Наблюдения в опыте показали, что в течение вегетационного периода растения томатов, выращиваемые под светодиодным освещением, отличались большей длиной побега по сравнению с натриевым вариантом. В фазу 4–6 настоящих листьев длина побега томатов составила до 20 см в камере с LED освещением и до 16 см – с Na освещением. В фазе начала цветения растения томатов имели длину главного побега в среднем 33,6 см. Самые высокие растения отмечены в камере со светодиодным освещением (36,0 см), независимо от действия бактерий.

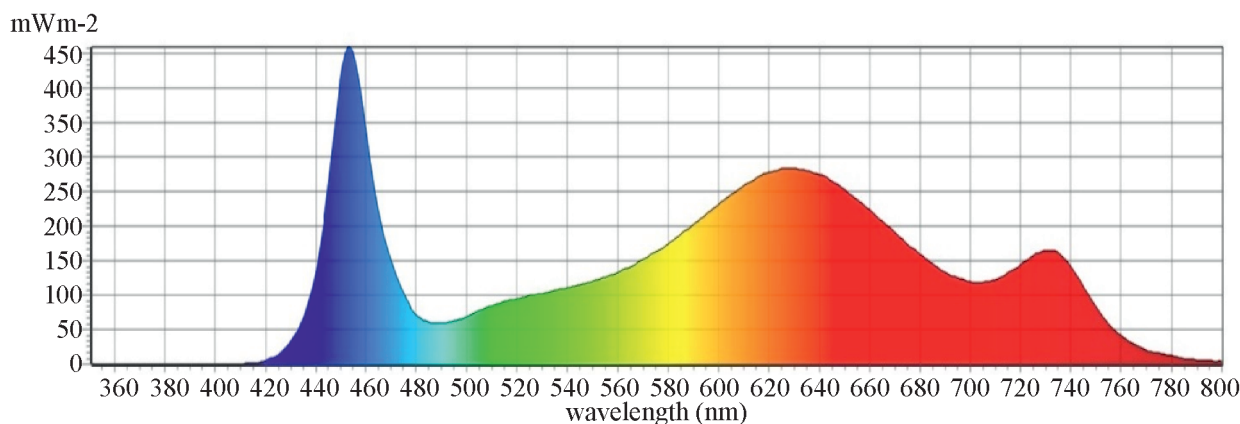


Рис. 1. Спектральный состав освещения

Fig. 1. Spectral composition of lighting

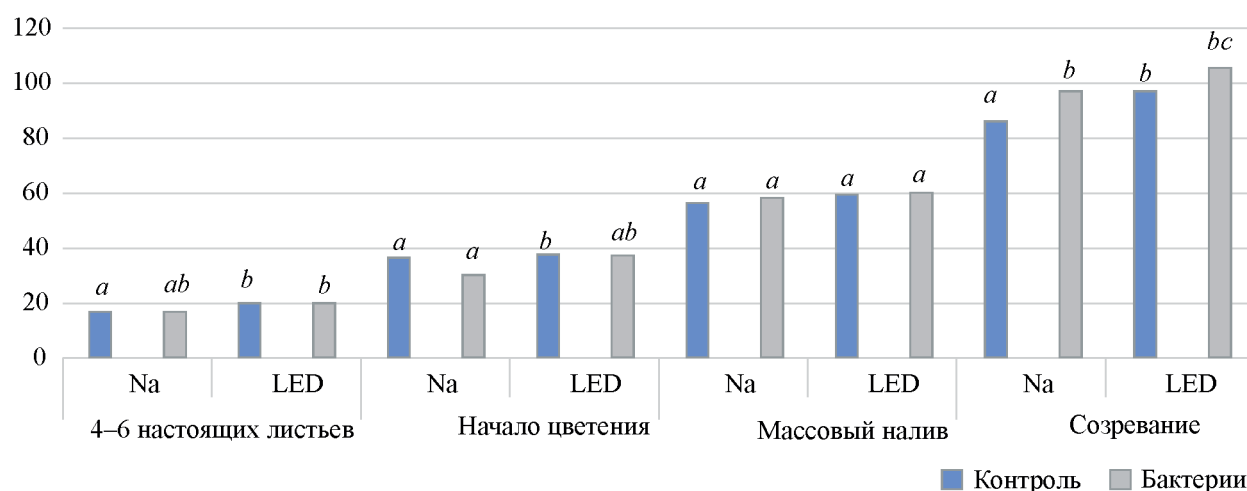


Рис. 2. Высота растений томатов сорта Благодатный, выращенного в условиях закрытой агроэкосистемы, см

Fig. 2. Height of tomato plants of the Blagodatny variety grown in a closed agroecosystem, cm

В фазу созревания длина побегов варьировала от 84,0 до 101,5 см в зависимости от варианта опыта. На данной стадии развития растений проявилось действие бактериальной культуры *B. cereus* на темпы роста с достоверно значимыми различиями как при Na, так и при LED освещении. В ряде работ показано, что присутствие ризобактерий *Pseudomonas* sp. 2.4.1 в ризосфере приводило к ускорению роста и накоплению сухой биомассы листьев томата [14]. При применении смеси штаммов рода *Bacillus* увеличивалось количество кистей, цветков и плодов томата [15].

Применение бактериальной культуры *B. cereus* повышает накопление сухого вещества до 5,73% в плодах томатов, выращенных при LED освещении. По содержанию сухих веществ достоверных различий между вариантами опыта при Na освещении не выявлено. Массовая доля сухого вещества в плодах томатов, выращенных при Na освещении с применением бактерий, находилась на уровне контроля при LED освещении (см. рис. 3).

В камере с Na освещением без внесения бактерий массовая доля сухих веществ в плодах томатов составила 4,93% в сравнении с LED (5,41%).

Основными компонентами фотосинтезирующей системы растений являются пигменты, которые служат первичными фоторецеп-

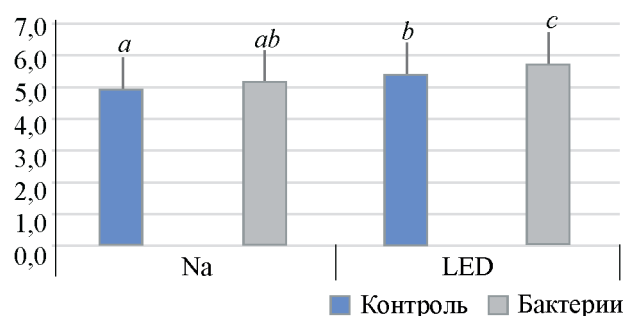


Рис. 3. Содержание сухих веществ в плодах томата сорта Благодатный, %

Fig. 3. Dry matter content in fruits of the Blagodatny tomato variety, %

торами в процессе фотосинтеза. Приспособленность растений к определенному световому режиму проявляется в изменении пигментного состава. В результате проведенных анализов установлено, что соотношения фотосинтетических пигментов в изучаемых вариантах опыта различно (см. табл. 2). Применение бактериальной культуры *B. cereus* способствовало увеличению концентрации хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов по сравнению с контролем. В листьях томатов, выращенных под Na (контрольным) освещением с применением *B. cereus*, средний показатель содержания хлорофилла *a* и *b* составил 4,24 и 1,70 мг/г соответственно по сравнению с растениями без применения бактерий 3,62 мг/г (хлорофилла *a*) и 1,27 мг/г (хлорофилла *b*).

Табл. 2. Содержание основных фотосинтетических пигментов в растениях томата сорта Благодатный, мг/г (сырой массы)

Table 2. Contents of the main photosynthetic pigments in tomato plants of the Blagodatny variety, mg/g (wet weight)

Тип освещения	Вариант опыта	Хл. <i>a</i>	Хл. <i>b</i>	Хл. (<i>a+b</i>)	Каротиноиды
Na	Контроль	3,62 ± 0,3	1,27 ± 0,2	4,89 ± 0,3	0,97 ± 0,2
	Бактерии	4,24 ± 0,4	1,70 ± 0,3	5,94 ± 0,4	1,19 ± 0,3
LED	Контроль	3,55 ± 0,3	1,42 ± 0,3	4,97 ± 0,3	0,83 ± 0,2
	Бактерии	4,48 ± 0,4	1,77 ± 0,3	6,25 ± 0,5	1,16 ± 0,2

В варианте опыта с LED освещением отмечена аналогичная тенденция по увеличению накопления фотосинтетических пигментов с применением бактериальной культуры. Под действием бактерий содержание каротиноидов в биомассе листьев томатов накапливалось в меньшей степени по сравнению с другими пигментами и находилось на уровне 1,16–1,19 мг/г в варианте с бактериями по сравнению с контролем 0,83–0,97 мг/г. Источник освещения достоверно не повлиял на накопление фотосинтетических пигментов.

Общее содержание хлорофиллов (*a + b*) составило 5,94 мг/г (Na освещение) и 6,25 мг/г (LED освещение), что превышает контрольные варианты без присутствия *B. cereus* на 21,5 и 25,8% соответственно. Однако по статистической оценке достоверных различий между данными показателями не наблюдали.

На вкусовые качества плодов томатов оказывают влияние содержание органических кислот и индекс Brix. При анализе индекса Brix в плодах томатов отмечено, что содержание общих сахаров было на уровне 2,2–3,5% с наибольшим значением в варианте с применением *B. cereus* при выращивании растений

в камере LED. Показатель общей титруемой кислотности среди изученных вариантов находился в пределах 0,29–0,36%. Между контролем Na освещения (0,29%) и вариантами с применением бактериальной суспензии при разных источниках освещения отмечены достоверные различия (см. табл. 3).

Сахарокислотный индекс является одним из критериев оценки качества плодов. Данный показатель характеризует гармоничность вкуса в отношении сахара и кислоты. В наших исследованиях данный показатель составил 7,59–9,72 в зависимости от варианта опыта. Высокие значения наблюдали в вариантах с LED освещением (8,82–9,72), что достоверно превышало контроль (7,59). Оценивая воздействие биоудобрения на основе *B. cereus* на вкусовые качества плодов томата, стоит отметить, что при Na освещении действие бактерий нивелируется по сравнению с растениями, выращенными при LED освещении.

При химическом анализе методом капиллярного электрофореза определен состав органических кислот в плодах томата сорта Благодатный (см. рис. 4). Оценивая действие разных типов светового освещения и приме-

Табл. 3. Биохимические показатели плодов томата сорта Благодатный

Table 3. Biochemical parameters of the fruits of the Blagodatny tomato variety

Тип освещения	Вариант опыта	Индекс Brix, %	Титруемая кислотность, %	Сахарокислотный индекс
Na	Контроль	2,20 _a	0,29 _a	7,59 _a
	Бактерии	2,70 _b	0,33 _b	8,18 _{ab}
LED	Контроль	3,00 _b	0,34 _b	8,82 _b
	Бактерии	3,50 _c	0,36 _b	9,72 _c

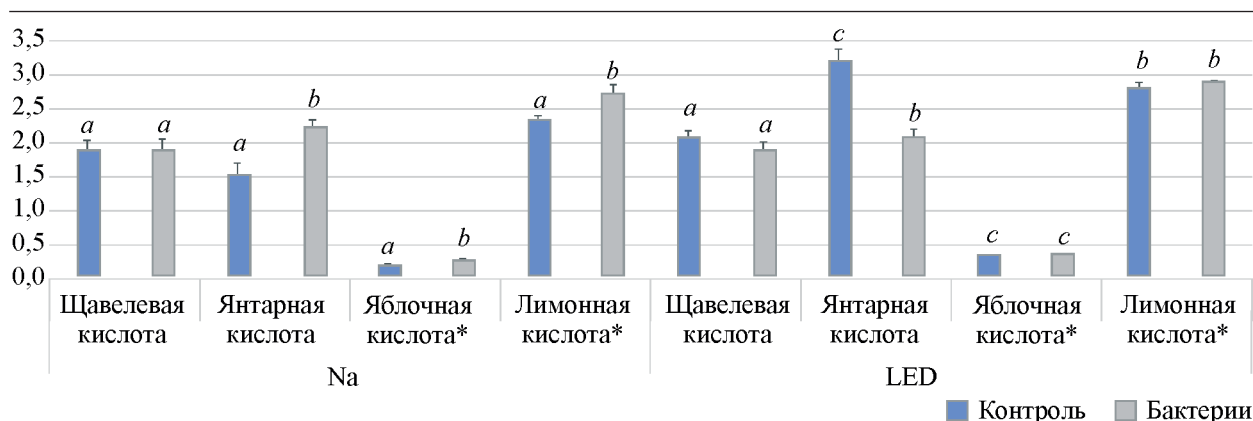


Рис. 4. Содержание органических кислот в плодах томата сорта Благодатный, мг/100 г сырой массы (*г/кг сырой массы)

Fig. 4. The content of organic acids in the fruit of the Blagodatny tomato variety, mg/100 g wet weight (*g/kg wet weight)

нение бактерий *B. cereus* на накопление биологически активных веществ в плодах томатов, были выявлены некоторые закономерности. Тип светового освещения способствовал накоплению содержания в большей степени лимонной и яблочной кислот в плодах томатов (см. рис. 4).

Сравнивая контрольные варианты растений томатов, выращенных при разном источнике освещения, установлено, что LED освещение оказывало лучшее воздействие на синтез указанных выше органических кислот (см. рис. 4). Содержание яблочной кислоты в камере с LED освещением составило 34,43 мг/100 г сырой массы по сравнению с Na освещением (контроль) – 21,28 мг/100 г сырой массы плодов томатов.

Растения томатов, обработанные биоудобрением на основе *B. cereus*, отличались формированием плодов с большим содержанием янтарной, яблочной и лимонной кислот с Na типом освещения. При анализе плодов томатов, выращенных под LED освещением, отмечено изменение в накоплении только янтарной кислоты. Синтез щавелевой кислоты в плодах томатов не зависел от изученных факторов (типа освещения и применение бактерий *B. cereus*). Концентрация щавелевой кислоты опыта находилась на уровне 1,87–2,08 мг/100 г сырой массы плодов томатов в зависимости от варианта опыта.

Анализ полученных данных в опыте показал, что ключевым фактором в формиро-

вании урожая томатов являлся источник освещения. Так, урожайность томатов при LED освещении составила 1,89 кг/куст, при Na освещении данный показатель находился на уровне 1,53 кг/куст. Применение биоудобрения на основе *B. cereus* при выращивании томатов не оказало достоверно значимых различий на урожайность плодов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований показали, что параметры роста и развития томатов под LED освещением отличались большей длиной побега по сравнению с Na типом освещения. В фазу созревания проявилось действие внесения бактериальной культуры *B. cereus* на темпы роста с достоверно значимыми различиями. Применение бактериальной культуры *B. cereus* способствует накоплению сухого вещества до 5,73% в плодах томатов, выращенных при LED освещении. По содержанию сухих веществ достоверных различий между вариантами опыта при Na освещении не выявлено. По соотношению концентраций всех проанализированных органических кислот в эксперименте преобладает лимонная кислота, далее по содержанию – яблочная кислота. LED освещение позволяет активнее накапливать органические кислоты в плодах томатов сорта Благодатный. Содержание яблочной кислоты в камере с LED освещением составило 34,43 мг/100 г сырой массы по сравнению с Na (контроль) – 21,28 мг/100 г сырой массы плодов томатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журавлева Л.А. Сити-фермерство как перспективное направление развития агропроизводства // Научная жизнь. 2020. Т. 15. № 4 (104). С. 492–503.
2. Zhang X., Bian Z., Yuan X., Chen X., Lu C.A. Review on the Effects of Light-Emitting Diode (LED) Light on the Nutrients of Sprouts and Microgreens. // Trends Food in Food Science & Technology. 2020. Vol. 99. P. 203–216. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.02.031.
3. Santin M., Ranieri A., Castagna A. Anything New under the Sun? An Update on Modulation of Bioactive Compounds by Different Wavelengths in Agricultural Plants // Plants. 2021. Vol. 10. P. 1485. DOI: 10.3390/plants10071485.
4. Xu Y. Nature and source of light for plant factory. In Plant Factory Using Artificial Light // The Netherlands. Elsevier: Amsterdam. 2019. P. 47–69.
5. Kozai T., Niu G., Takagaki M. Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2019.
6. Meng Q., Boldt J., Runkle E.S. Blue Radiation Interacts with Green Radiation to Influence Growth and Predominantly Controls Quality Attributes of Lettuce // Journal of the American Society for Horticultural Science. 2020. Vol. 145. N 2. P. 75–87. DOI: 10.21273/JASHS04759-19.
7. Abd-Elkader D.Y., Hassan S.M. Influence of different fertilization and harvest time on growth, head characters and nutrition quality of endive under sandy soil // American Journal of Plant Physiology. 2016. Vol. 11. P. 23–32.
8. Knyazeva I.V., Vershinina O.V., Gudimo V.V., Grishin A.A., Dorokhov A.S. The effect of succinic acid on the productivity of *Lactuca sativa* L. in artificial agroecosystems // Agronomy Research. 2021. Vol. 19. N 2. P. 496–506. DOI: org/10.15159/AR.21.092.
9. Knyazeva I.V., Dorokhov A.S., Vershinina O.V., Myachikova N.I., Grishin A.A., Gudimo V.B., Georgescu C. The effect of amber acid on the productivity and chemical composition of tomatoes grown in a climatic chamber // Scientific Study & Research Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry. 2021. Vol. 22. N 3. P. 311–319.
10. Khan M.A., Asaf S., Khan A.L. Thermotolerance effect of plant growth-promoting *Bacillus cereus* SA1 on soybean during heat stress // BMC Microbiol. 2020. Vol. 175. DOI: 10.1186/s12866-020-01822-7.
11. Ahmed M.Ali, Mahrous Y.M. Awad, Sabry A. Hegab, Assem Mohamed Abd El Gawad & Mamdouh A. Eissa. Effect of potassium solubilizing bacteria (*Bacillus cereus*) on growth and yield of potato // Journal of Plant Nutrition. 2021. Vol. 44 (3). P. 411–420. DOI: 10.1080/01904167.2020.1822399.
12. Alaaeldin A. Helaly, Emad Mady, Emad A. Salem, Timothy O. Randhir Stimulatory effects of growth-promoting bacteria on growth, nutritional composition, and yield of kale plants // Journal of Plant Nutrition. 2022. Vol. 45 (16). P. 2465–2477. DOI: 10.1080/01904167.2022.2046084.
13. Масленникова Д.Р., Чубукова О.В., Вершинина З.Р., Емелина А.А., Насырова К.Р., Хакимова Л.Р., Михайлова Е.В. Влияние ростостимулирующих бактерий на рост и содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений томата // Биомика. 2021. Т. 13. № 3. С. 274–279.
14. Масленникова В.С., Цветкова В.П.1, Петров А.Ф., Пастухова А.В. Влияние бактерий рода *Bacillus* на рост и продуктивность томата сорта Спок // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2021. № 1 (58). С. 56–63. DOI: 10.31677/2072-6724-2021-58-1-56-63.
15. Nicole C.C.S., Mooren J., Pereira Terra A.T., Larsen D.H., Woltering E.J., Marcelis L.F.M., Verdonk J., Schouten R., Troost F. Effects of LED lighting recipes on postharvest quality of leafy vegetables grown in a vertical farm // Acta Horticulturae. 2019. 1256. P. 481–488. DOI: 10.17660/ActaHortic.2019.1256.68.

REFERENCES

1. Zhuravleva L.A. City farming as a promising direction for the development of agricultural production. *Nauchnaya zhizn' = Scientific Life*, 2020. T. 15. № 4 (104), pp. 492–503. (In Russian).
2. Zhang X., Bian Z., Yuan X., Chen X., Lu C.A. Review on the Effects of Light-Emitting Diode (LED) Light on the Nutrients of Sprouts and Microgreens. *Trends Food in Food Science & Technology*, 2020, vol. 99, pp. 203–216. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.02.031.
3. Santin M., Ranieri A., Castagna A. Anything New under the Sun? An Update on Modulation of Bioactive Compounds by Different Wavelengths in Agricultural Plants. *Plants*, 2021, vol. 10, pp. 1485. DOI: 10.3390/plants10071485.
4. Xu Y. Nature and source of light for plant factory. In Plant Factory Using Artificial Light. *The Netherlands*. Elsevier: Amsterdam, 2019, pp. 47–69.

5. Kozai T., Niu G., Takagaki M. Plant Factory: *An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. Academic Press, Cambridge, MA, USA, 2019.
6. Meng Q., Boldt J., Runkle E.S. Blue Radiation Interacts with Green Radiation to Influence Growth and Predominantly Controls Quality Attributes of Lettuce. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2020, vol. 145, no. 2, pp. 75–87. DOI: 10.21273/JASHS04759-19.
7. Abd-Elkader D.Y., Hassan S.M. Influence of different fertilization and harvest time on growth, head characters and nutrition quality of endive under sandy soil. *American Journal of Plant Physiology*, 2016, vol. 11, pp. 23–32.
8. Knyazeva I.V., Vershinina O.V., Gudimo V.V., Grishin A.A., Dorokhov A.S. The effect of succinic acid on the productivity of *Lactuca sativa* L. in artificial agroecosystems. *Agronomy Research*, 2021, vol. 19, no. 2, pp. 496–506. DOI: 10.15159/AR.21.092.
9. Knyazeva I.V., Dorokhov A.S., Vershinina O.V., Myachikova N.I., Grishin A.A., Gudimo V.B., Georgescu C. The effect of amber acid on the productivity and chemical composition of tomatoes grown in a climatic chamber. *Scientific Study & Research Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 2021, vol. 22, no. 3, pp. 311–319.
10. Khan M.A., Asaf S., Khan A.L. Thermotolerance effect of plant growth-promoting *Bacillus cereus* SA1 on soybean during heat stress. *BMC Microbiol* 20. 2020, vol. 175. DOI: 10.1186/s12866-020-01822-7.
11. Ahmed M.Ali, Mahrous Y.M. Awad, Sabry A. Hegab, Assem Mohamed Abd El Gawad & Mamdouh A. Eissa Effect of potassium solubilizing bacteria (*Bacillus cereus*) on growth and yield of potato. *Journal of Plant Nutrition*, 2021, vol. 44 (93), pp. 411–420. DOI: 10.1080/01904167.2020.1822399.
12. Alaaeldin A. Helaly, Emad Mady, Emad A. Salem & Timothy O. Randhir Stimulatory effects of growth-promoting bacteria on growth, nutritional composition, and yield of kale plants. *Journal of Plant Nutrition*, 2022, vol. 45 (16), pp. 2465–2477. DOI: 10.1080/01904167.2022.2046084.
13. Maslennikova D.R., Chubukova O.V., Vershinina Z.R., Emelina A.A., Nasyrova K.R., Khakimova L.R., Mikhailova E.V. Effect of PGPR bacteria on growth and content of photosynthetic pigments in leaves of tomato plants. *Biomika = Biomics*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 274–279. (In Russian).
14. Maslennikova V.S., Tsvetkova V.P.I., Petrov A.F., Pastukhova A.V. Influence of the bacillus genus bacteria on the growth and productivity of tomatoes of spok variety. *Vestnik NGAU (Novosibirskii Gosudarstvennyi Agrarnyi Universitet) = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2021, vol. 1 (58), pp. 56–63. DOI: 10.31677/2072-6724-2021-58-1-56-63. (In Russian).
15. Nicole C.C.S., Mooren J., Pereira Terra A.T., Larsen D.H., Woltering E.J., Marcelis L.F.M., Verdonk J., Schouten R., Troost F. Effects of LED lighting recipes on postharvest quality of leafy vegetables grown in a vertical farm. *Acta Horticulturae*, 2019, vol. 1256. pp. 481–488. DOI: 10.17660/ActaHortic.2019.1256.68

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Князева И.В.**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5; e-mail: knyazewa.inna@yandex.ru

Вершинина О.В., кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник

Титенков А.В., лаборант-исследователь

Джос Е.А., кандидат биологических наук, заведующая лабораторией

AUTHOR INFORMATION

✉ **Inna V. Knyazeva**, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher; **address:** 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russia; e-mail: knyazewa.inna@yandex.ru

Oksana V. Vershinina, Candidate of Science in Agriculture, Researcher

Andrey V. Titenkov, Laboratory Assistant-Researcher

Elena A. Jos, Candidate of Science in Biology, Laboratory Head

Дата поступления статьи / Received by the editors 01.09.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 20.01.2023
Дата публикации / Published 20.06.2023