

ВЛИЯНИЕ ИСТОЧНИКОВ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АССИМИЛИРУЮЩИХ И ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНОВ РАСТЕНИЙ ТОМАТА

Ж. А. РУПАСОВА, Ф. И. ПРИВАЛОВ, В. С. ЗАДАЛЯ, К. А. ДОБРЯНСКАЯ,
Д. О. СУЛИМ, С. Н. АВРАМЕНКО, П. Н. БЕЛЫЙ, Т. В. ШПИТАЛЬНАЯ

ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь

М. А. ДОЛБИК

ОАО «Тепличный комбинат «Берестье»,
г. Брест, Республика Беларусь

(Поступила в редакцию 29.09.2023)

Приведены результаты сравнительного исследования в условиях защищенного грунта влияния искусственного освещения с использованием натриевого светильника ДНАТ мощностью 600 Вт, а также светодиодов марок Арлайт и Эвиар мощностью 112 и 127 Вт соответственно на 17 показателей биохимического состава ассимилирующих и генеративных органов растений томата. Установлено, что степень данного влияния определялась не только источником искусственного освещения, но и химической природой органических соединений и метаболическими процессами в данных частях растений. Экспериментально обоснована неприемлемость использования натриевого светильника ДНАТ в целях обогащения потребляемой продукции томата комплексом действующих веществ, представленном рядом органических кислот, углеводов и фенольных соединений, тогда как наиболее благоприятные условия в этом плане выявлены на фоне применения светодиодных светильников предпочтительно марки Эвиар.

Ключевые слова: натриевый светильник, светодиоды, томаты, листья, плоды, свободные органические, аскорбиновая и гидроксикоричные кислоты, сухие, дубильные и пектиновые вещества, растворимые сахара, сахарокислотный индекс, Р-витамины, антоциановые пигменты, катехины, флавонолы

The results of a comparative study in protected soil conditions of the influence of artificial lighting using a 600 W sodium arc lamp, as well as LEDs of the Arlight and Eviyar brands with a power of 112 and 127 W, respectively, on 17 indicators of the biochemical composition of the assimilating and generative organs of tomato plants are presented. It was established that the degree of this influence was determined not only by the source of artificial lighting, but also by the chemical nature of organic compounds and metabolic processes in these parts of plants. The unacceptability of using a sodium arc lamp for the purpose of enriching consumed tomato products with a complex of active substances represented by a number of organic acids, carbohydrates and phenolic compounds has been experimentally substantiated, while the most favorable conditions in this regard have been identified against the background of the use of LED lamps, preferably of the Eviyar brand.

Key words: sodium lamp, LEDs, tomatoes, leaves, fruits, free organic substances, ascorbic and hydroxycinnamic acids, dry, tannins and pectin substances, soluble sugars, sugar acid index, P-vitamins, anthocyanin pigments, catechins, flavonols.

Введение

Совершенствование технологии производства овощной продукции в условиях защищенного грунта, направленное на повышение урожайности и улучшение ее качественных показателей, предусматривает применение в этих целях искусственного освещения. В мировой практике овощеводства широкое распространение получили светодиодные светильники, обладающие рядом преимуществ перед традиционными источниками света – лампами накаливания в силу своей экономичности и возможности регулирования спектрального состава и интенсивности светового потока в соответствии с физиологическими потребностями культивируемых растений. Вместе с тем при подборе оптимального для той или иной культуры источника дополнительного освещения представляется необходимым проведение сравнительных исследований по оценке влияния нескольких видов светильников не только на продукционные, но и качественные показатели производимой продукции. В настоящее время весьма актуальным при выращивании томата в защищенном грунте Открытого акционерного общества «Тепличный комбинат «Берестье» является выявление из трех вариантов досветки – с использованием натриевого светильника «ДНАТ» и двух марок светодиодов отечественного производства – «Арлайт» и «Эвиар» источника освещения, обеспечивающего максимальную урожайность плодов при хороших вкусовых свойствах и наиболее высоком содержании в них полезных веществ.

Целью настоящей работы являлось определение наиболее эффективного источника искусственного освещения при выращивании культуры томата на основе сравнительного исследования биохимического состава ассимилирующих и генеративных органов растений по широкому спектру показателей.

Основная часть

Исследования выполнены в рамках производственного эксперимента с 4-вариантной схемой: 1 – контроль (естественное освещение); 2 – использование натриевого светильника «ДНАТ» мощностью

600 Вт; 3 – использование светодиода марки «Арлайт» мощностью 112 Вт; 4 – использование светодиода марки «Эвиар» мощностью 127 Вт.

Анализ состояния пигментного фонда и определение биохимических характеристик опытных растений осуществляли в лаборатории химии растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси. В свежих усредненных пробах растительного материала определяли содержание фотосинтезирующих пигментов – хлорофиллов *a* и *b* по методу Т.Н. Годнева [1, 2], β -каротина и суммы каротиноидов – по ГОСТ 8756.22-80 [3]; сухих веществ – по ГОСТ 31640-2012 [4]; аскорбиновой кислоты (витамина С) – стандартным индофенольным методом [5]; свободных органических (титруемых) кислот (общей кислотности) – объемным методом [5]. В высушенных при температуре 60°C пробах растительного материала определяли содержание: гидроксикоричных кислот (в пересчете на хлорогеновую) – спектрофотометрическим методом [6]; растворимых сахаров – ускоренным полумикрометодом [7]; пектиновых веществ – кальциево-пектатным методом [5]; суммарного количества антоциановых пигментов – по методу Т. Swain, W. E. Hillis [8], с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю.Г. Скориковой и Э.А. Шафтан [9]; собственно антоцианов и общего количества катехинов (с использованием ванилинового реактива) – фотоэлектроколориметрическим методом [10, 5]; суммы флавонолов (в пересчете на рутин) – спектрофотометрическим методом [5]; дубильных веществ (танинов) – титрометрическим методом Левенталя [11]. Все определения выполнены в 2-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторностях с последующей статистической обработкой экспериментальных данных по методике, принятой для биологических исследований [12] с использованием программы *Microsoft Office Excel 2007* [13].

Работами ряда ученых экспериментально доказано значительное, причем не всегда позитивное влияние искусственного освещения на накопление в растениях биологически активных соединений разной химической природы [14, 15]. Повариянтное исследование биохимического состава опытных растений показало, что суммарное содержание хлорофиллов в сухой массе листовой ткани варьировалось в рамках эксперимента в весьма широком диапазоне, составлявшем 552,5–840,7 мг/100 г, а каротиноидов – 91,2–163,8 мг/100 г, в том числе β – каротина – 36,4–89,3 мг/100 г. Содержание пластидных пигментов в сухой массе плодов томата заметно уступало установленному в листовой ткани – в 6–8 раз по количеству хлорофиллов и в 1,4–2,3 раза – по содержанию каротиноидов при более узких диапазонах варьирования параметров их накопления, составлявших 94,3–114,9 мг/100 г в первом случае и 63,1–79,2 мг/100 г во втором при содержании β – каротина 35,4–57,3 мг/100 г.

По нашим оценкам, в ассимилирующих органах растений содержание сухих веществ изменялось в диапазоне 12,2–18,6 %, а свободных органических, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот – в пределах 1,44–2,19 %, 333,0–430,5 мг/100 г и 1037,3–1175,4 мг/100 г сухой массы соответственно, растворимых сахаров – от 2,6 до 3,5 % при соответствующих межвариантных различиях сахарокислотного индекса, определяемого соотношением количеств растворимых сахаров и титруемых кислот и варьировавшегося в интервале 1,4–1,9. При этом параметры накопления пектиновых и дубильных веществ изменялись в диапазонах 4,41–7,66 % и 0,88–1,40 % соответственно. Плоды томата характеризовались меньшим, чем ассимилирующие органы, содержанием сухих веществ, составлявшим 4,4–5,4 % при значительно большем количестве титруемых кислот, варьировавшемся в диапазоне 9,6–13,6 %, и в несколько раз меньшем гидроксикоричных кислот, изменявшемся от 228,7 до 382,5 мг/100 г, но при этом довольно близком содержании аскорбиновой кислоты, составлявшем 269,8–409,8 мг/100 г сухой массы. Содержание растворимых сахаров в плодах томата, составлявшее 14,0–23,3 %, в 5–8 раз превышало таковое в листовой ткани, а показатель сахарокислотного индекса варьировался в интервале 1,4–2,4. При этом параметры накопления пектиновых и дубильных веществ в сухой массе плодов в 2–4 раза уступали таковым в листовой ткани и составляли 2,05–2,73 % и 0,21–0,53 % соответственно.

Особый интерес в данной работе представляло исследование ответной реакции опытных растений на изменение условий освещения наиболее ценного в физиологическом плане биофлавоноидного (Р-витаминного) комплекса, обладающего разносторонним физиологическим действием на человеческий организм [16]. Установлено, что общее содержание данных соединений в сухой массе листовой ткани было весьма значительным и варьировалось в рамках эксперимента в диапазоне 4998–5316 мг/100 г при суммарном количестве антоциановых пигментов 1560–2314 мг/100 г, представленных преимущественно лейкоформами, содержание которых составляло 1128–1834 мг/100 г, тогда как таковое собственно антоцианов – 342–546 мг/100 г. При этом интервал изменения содержания флавонолов, преобладающих в составе Р-витаминного комплекса, соответствовал области значений 2452–3270 мг/100 г сухой массы, а содержания катехинов – 265–504 мг/100 г. Суммарное содержание биофлавоноидов в сухой массе плодов томата, в зависимости от источника освещения, уступало таковому в листовой ткани в 1,8–2,6 раза и варьировалось в диапазоне 2022–2796 мг/100 г при меньшем в 3,5–8,7 раза общем

количестве антоциановых пигментов, составлявшем 218–445 мг/100 г. Содержание лейкоантоцианов, превалирующих, как и в листьях, в составе антоцианового комплекса плодов, составляло 188–383 мг/100 г, тогда как таковое собственно антоцианов было значительно меньшим и не превышало 30–132 мг/100 г. При этом интервал изменения содержания флавонолов, доминирующих в Р-витаминном комплексе плодов и уступавшего таковому в листовой ткани в 2–3 раза, соответствовал области значений 1073–1533 мг/100 г сухой массы, а содержания катехинов, напротив, превышавшего таковое в листьях в 1,8–2,8 раза, составлял 731–920 мг/100 г.

Значительная ширина приведенных диапазонов варьирования обозначенных признаков свидетельствовала об их существенной зависимости от условий освещения. Вместе с тем влияние данного фактора на биохимические характеристики листьев и плодов томата оказалось весьма неоднозначным и даже противоположным по знаку (табл. 1). Вместе с тем в ряде случаев прослеживалась явная общность тенденций в ориентации расхождений тестируемых вариантов опыта с контролем в содержании анализируемых соединений на фоне заметных межвариантных различий степени их проявления. Так, независимо от источника искусственного освещения, в ассимилирующих органах растений имело место снижение на 17–34 % по сравнению с естественным освещением содержания сухих веществ, наиболее значительное при использовании светодиодов марки *Эвиар*, которые обусловили снижение их содержания также и в плодах томата на 6 %. При этом в вариантах опыта с применением натриевого светильника *ДНАТ* и светодиодов марки *Арлайт*, напротив, наблюдалось усиление накопления в них сухих веществ на 14 и 8 % соответственно. Наряду с этим все источники искусственного освещения способствовали обогащению генеративных и в большей степени ассимилирующих органов растений хлорофиллами и каротиноидами на 8–22 % и 10–26 % в первом случае и на 30–52 % и 24–80 % – во втором. При этом наиболее выраженное обогащение листовой ткани данными пигментами происходило при светодиодном освещении, тогда как для плодов более эффективным в этом плане было использование натриевого светильника. Обращает на себя внимание сходная у ассимилирующих и генеративных органов направленность изменений в содержании β -каротина по сравнению с контролем, активизация накопления которого в этих частях растений наблюдалась при применении натриевого светильника и особенно светодиодов марки *Эвиар*, тогда как при использовании светодиодов марки *Арлайт* в обоих случаях наблюдалось сходное по величине снижение его содержания на 16–18 % по сравнению с контролем.

Обращает на себя внимание, что на фоне испытываемых вариантов освещения в ассимилирующих и генеративных органах растений были выявлены противоположные по знаку изменения в содержании титруемых кислот. Так, если для листовой ткани было показано усиление их накопления на 20–52 % относительно контроля, наибольшее при использовании светодиодов марки *Эвиар*, то в плодах наблюдалась обратная картина – снижение содержания на 13–29 %, хотя и наименьшее при применении светильника этой марки. Наряду с этим только освещение растений светодиодами марки *Эвиар* способствовало обогащению их листовой ткани аскорбиновой кислотой по сравнению с естественным освещением, тогда как при использовании светодиодов марки *Арлайт* и натриевого светильника имело место снижение ее содержания на 3 и 12 % соответственно. При этом на фоне всех источников искусственного освещения выявлено обогащение плодов томата аскорбиновой кислотой на 4–52 %, наибольшее опять же при использовании светодиодов марки *Эвиар* и наименьшее при применении натриевого светильника (табл. 1). Что касается гидроксикоричных кислот, то наиболее сильное влияние испытываемых источников искусственного освещения на их содержание выявлено в генеративных органах растений. При этом во всех тестируемых вариантах опыта обнаружено его снижение на 23–40 % относительно контроля, однако наименьшим оно было опять-таки на фоне светодиодов марки *Эвиар*, не оказавших, в свою очередь, значимого влияния на содержание данных соединений в ассимилирующих органах. Различия же с контролем параметров накопления в листовой ткани гидроксикоричных кислот в остальных тестируемых вариантах опыта оказались весьма незначительными – в пределах 5–7 % и противоположными по знаку – отрицательными при использовании натриевого светильника и положительными при использовании светодиода марки *Арлайт*. В характере влияния источников искусственного освещения на углеводный комплекс растений томата выявлены следующие особенности. Так, в листовой ткани на фоне применения натриевого светильника не обнаружено значимых различий с контролем в содержании растворимых сахаров, тогда как использование обоих светодиодов, особенно марки *Эвиар*, обусловило его увеличение на 7–30 %. При этом в плодах томата активизация их накопления на 21 % обнаружена лишь при использовании светодиода марки *Арлайт*, тогда как на фоне освещения светодиодом марки *Эвиар* значимых различий с контролем в этом плане выявить не удалось, а применение светильника *ДНАТ* способствовало весьма значительному обеднению продукции томата растворимыми сахарами, достигавшему 28 % (табл. 1). Выявленные межвариантные различия в содержании данных углеводов и титруемых кислот заметно отразились на соотношении их

количеств, характеризующем сахарокислотный индекс исследуемых частей растений. Так, если в ассимилирующих органах наблюдалось весьма значительное его снижение при использовании светильника ДНАТ и светодиода марки Эвияр, составлявшее 26 и 16 % соответственно, и только в варианте опыта с освещением светодиодом марки Арлайт не обнаружено достоверных различий с контролем по данному признаку, то в генеративных органах отсутствие различий с ним установлено лишь при использовании натриевого светильника, а в обоих вариантах со светодиодным освещением имело место весьма значительное увеличение данного показателя на 14 и 71 %, наибольшее при использовании марки Арлайт, и свидетельствовало о повышении сладости продукции. Что касается пектиновых веществ, то применение натриевого светильника ингибировало их накопление и в ассимилирующих, и в генеративных органах опытных растений, что подтверждалось снижением их содержания соответственно на 30 и 16 % относительно контроля (табл. 1). В варианте опыта с использованием светодиода марки Арлайт, напротив, отмечена активизация биосинтеза пектинов в этих частях растений на 22 и 11 %, тогда как при освещении их светильником марки Эвияр аналогичный эффект обнаружен лишь в плодах томата, а в листовой ткани наблюдалось хотя и незначительное (в пределах 7 %), но все же достоверное снижение их содержания. Обращает на себя внимание заметное ингибирующее действие испытываемых источников искусственного освещения на биосинтез дубильных веществ как в листовой ткани, так и в плодах томата, подтверждаемое снижением их содержания соответственно на 16–37 % и 17–42 % относительно контроля, и лишь на фоне освещения светодиодом марки Эвияр получен обратный эффект, свидетельствовавший об усилении накопления в них танинов на 47 %.

Вместе с тем, как следует из табл. 1, ни один из тестируемых источников искусственного освещения не оказал статистически значимого влияния на суммарное содержание биофлавоноидов в ассимилирующих органах растений, что подтверждалось отсутствием различий с контролем по данному показателю. Однако их влияние на отдельные компоненты Р-витаминного комплекса оказалось весьма значительным и при этом контрастным. Так, все источники искусственного освещения оказывали ингибирующее влияние на биосинтез антоциановых пигментов в листовой ткани растений, что подтверждалось снижением их общего количества на 23–33 % по сравнению с контролем, наиболее выраженным при использовании светодиодов, особенно марки Эвияр. При этом использование натриевого светильника приводило к ослаблению биосинтеза в листовой ткани также и катехинов на 35 %, тогда как освещение светодиодом марки Арлайт, напротив, обуславливало обогащение ее данными соединениями на 25 % при весьма незначительном (не более чем на 4 %) обеднении ими на фоне применения светодиода марки Эвияр. Данная трансформация Р-витаминного комплекса ассимилирующих органов сопровождалась существенной активизацией биосинтеза преобладающих в его составе флавонолов, о чем свидетельствовало увеличение их содержания на 21–33 %, наиболее значительное при использовании светильника ДНАТ (табл. 1).

Таблица 1. Относительные различия тестируемых вариантов опыта с контролем по биохимическим характеристикам ассимилирующих и генеративных органов растений томата, %

Показатель	Ассимилирующие органы			Генеративные органы		
	2 – ДНАТ	3 – Арлайт	4 – Эвияр	2 – ДНАТ	3 – Арлайт	4 – Эвияр
Сухие вещества	-17,0	-19,9	-34,1	+14,1	+7,7	-5,5
Хлорофиллы	+30,3	+52,2	+42,8	+19,5	+7,7	+21,8
Каротиноиды	+24,0	+57,2	+79,6	+25,5	+10,3	+13,0
β-каротин	+50,3	-16,3	+105,3	+19,5	-17,9	+32,9
Свободн. органич. кисл.	+31,3	+20,1	+52,1	-25,4	-29,1	-12,7
Аскорбиновая кислота	-12,3	-2,8	+13,4	+3,8	+20,3	+51,9
Гидроксикоричные кисл.	-5,4	+7,2	–	-36,1	-40,2	-22,7
Растворимые сахара	–	+7,4	+29,6	-27,5	+20,7	–
Сахарокислотный индекс	-26,3	–	-15,8	–	+71,4	+14,3
Пектиновые вещества	-29,8	+22,0	-7,0	-16,3	+10,6	+11,4
Собственно антоцианы	-28,8	+13,8	-10,0	-54,5	+100,0	–
Лейкоантоцианы	-21,5	-38,3	-38,5	–	–	+92,1
Сумма антоциан. пигм.	-23,0	-27,5	-32,6	-17,6	+29,4	+67,6
Катехины	-34,6	+24,4	-3,8	-8,5	+15,3	+9,4
Флавонолы	+33,3	+20,8	+24,3	-16,0	+20,0	-5,3
Сумма биофлавоноидов	–	–	–	-13,6	+19,5	+8,0
Дубильные вещества	-16,4	-34,3	-37,1	-16,7	-41,7	+47,2

Примечание: Прочерк означает отсутствие статистически значимых по t-критерию Стьюдента различий с контролем при $p < 0,05$.

В отличие от ассимилирующих, в генеративных органах растений наблюдалась совершенно иная картина, при которой освещение натриевым светильником обуславливало ингибирование биосинтеза всех групп биофлавоноидов на 9–55 % относительно контроля, особенно собственно антоцианов, что приводило к снижению общего выхода полифенолов на 14 %, свидетельствовавшему о падении уровня

Р-витаминной активности плодов томата. Использование же светодиодных светильников обеспечило прямо противоположный эффект, подтверждаемый преимущественной активизацией накопления основных групп биофлавоноидов, особенно антоциановых пигментов, на 8–100 % относительно контроля при наибольшей ее выразительности на фоне применения светильника марки *Арлайт*. В свою очередь, доминирование позитивных эффектов в формировании Р-витаминного комплекса плодов томата обусловило увеличение в них общего выхода этих биологически активных соединений на 8–20 %, наиболее значительное при использовании светодиода марки *Арлайт*.

Как видим, степень влияния испытываемых источников искусственного освещения на показатели биохимического состава ассимилирующих и генеративных органов томата определялась не только индивидуальными особенностями создаваемых ими световых потоков, но и характером метаболических процессов в этих частях растений, а также химической природой исследуемых органических соединений.

Как следует из табл. 1, относительные размеры разноориентированных расхождений тестируемых вариантов опыта с контролем в содержании исследуемых соединений разной химической природы существенно различались между собой, что не позволяло дать объективную оценку степени межвариантных различий в биохимическом составе продукции томата по совокупности признаков. В связи с этим и в соответствии с разработанным Ж. А. Рупасовой с соавт. способом ранжирования объектов по совокупности признаков [17], в каждом тестируемом варианте опыта было осуществлено суммирование относительных размеров положительных и отрицательных различий с контролем по 17 количественным характеристикам биохимического состава ассимилирующих и генеративных органов растений (табл. 2).

Таблица 2. Относительные размеры, амплитуды и соотношения разноориентированных различий тестируемых вариантов опыта с контролем по биохимическим характеристикам ассимилирующих и генеративных органов растений томата

Вариант опыта	Относительные различия, %				
	положит.	отрицат.	амплитуда	положит./отрицат.	совокупн. эффект
Ассимилирующие органы					
2 – ДНАТ	169,2	215,1	384,3	0,8	-45,9
3 – Арлайт	225,1	139,1	364,2	1,6	+86,0
4 – Эвияр	347,1	178,9	526,0	1,9	+168,2
Генеративные органы					
2 – ДНАТ	82,4	232,2	314,6	0,4	-149,8
3 – Арлайт	332,9	128,9	461,8	2,6	+204,0
4 – Эвияр	369,6	46,2	415,8	8,0	+323,4

По величине амплитуды выявленных различий можно дать оценку степени изменений качественного состава опытных образцов в каждом тестируемом варианте опыта по сравнению с контролем (естественным освещением) в ту и иную стороны, а на основании кратного размера соотношения относительных размеров совокупностей положительных и отрицательных сдвигов в биохимическом составе исследуемых частей растений относительно контроля, принятого за 1, можно судить о степени изменений в нем. При этом установлено, что амплитуда выявленных отклонений тестируемых вариантов опыта от контроля по совокупности 17 анализируемых признаков варьировалась в рамках эксперимента в ассимилирующих органах в диапазоне 364,2–526,0 %, а в генеративных – в диапазоне 314,6–461,8 %. Это свидетельствовало о наиболее значительном в эксперименте изменении биохимического состава листовой ткани растений относительно контроля при освещении их светодиодом марки *Эвияр*, тогда как плодов – светодиодом марки *Арлайт* и несколько уступавшим ему по данному признаку светодиодом марки *Эвияр*.

Вместе с тем лишь в вариантах опыта с использованием светодиодного освещения в биохимическом составе и ассимилирующих, и генеративных органов растений томата установлено превышение относительных размеров совокупности позитивных сдвигов над таковой негативных, что свидетельствовало об улучшении в них качественного состава продукции по сравнению с контролем (естественным освещением). Подтверждением этому могут служить также положительные значения совокупного эффекта в этих вариантах опыта – соответственно 86 и 168 % в первом случае и 204 и 323 % во втором. В отличие от вариантов со светодиодным освещением, при использовании натриевого светильника *ДНАТ* и в ассимилирующих, и в генеративных органах опытных растений отмечено преобладание суммарной величины отрицательных сдвигов над таковой положительных, что однозначно свидетельствовало о меньшем, чем в контроле, содержании органических соединений в листьях и более низком интегральном уровне питательной и витаминной ценности плодов томата по совокупности биохимических характеристик, что находило подтверждение в отрицательной величине совокупного эффекта в

данном варианте опыта, составлявшей соответственно 46 и 150 %. При этом кратный размер соотношения совокупностей положительных и отрицательных сдвигов в биохимическом составе ассимилирующих и генеративных органов при использовании светильника *ДНАТ* оказался меньше 1 и составил 0,8 и 0,4 соответственно, уступая контролю в 1,3 и 2,5 раза, что указывает на абсолютную неэффективность данного варианта искусственного освещения в обогащении биохимического состава этих частей растений. Наиболее результативными в этом плане оказались варианты опыта с использованием светодиодов. По богатству биохимического состава ассимилирующих органов они превосходили контроль в 1,6 и 1,9 раза, а по интегральному уровню питательной и витаминной ценности плодов томата – в 2,6 и 8,0 раз, что нашло подтверждение в положительной величине совокупного эффекта в данных вариантах опыта, составившей в первом случае 86 и 168 %, во втором – 204 и 323 %. При этом наиболее значительное улучшение качественных показателей и ассимилирующих, и генеративных органов опытных растений наблюдалось при использовании светодиода марки *Эвиар*, превосходившее таковое при освещении светодиодом марки *Арлайт* в первом случае в 1,2 раза, во втором – в 3,1 раза. Это позволяет рассматривать данный вариант опыта как наиболее эффективный в производственном эксперименте и рекомендовать его для использования при выращивании томата в условиях защищенного грунта.

Заключение

В результате сравнительного исследования в условиях защищенного грунта влияния искусственного освещения с использованием натриевого светильника *ДНАТ* мощностью 600 Вт, а также светодиодов марок *Арлайт* и *Эвиар* мощностью 112 и 127 Вт соответственно на 17 показателей биохимического состава ассимилирующих и генеративных органов растений томата (сорт «Фанто») установлено, что степень влияния на них испытываемых светильников определялась не только индивидуальными особенностями создаваемых ими световых потоков, но и характером метаболических процессов в этих частях растений, а также химической природой исследуемых органических соединений. Все источники искусственного освещения оказывали позитивное влияние на насыщенность пигментного фонда пластид как ассимилирующих, так и генеративных органов растений при разной степени проявления выявленных эффектов. В листовой ткани максимальное накопление фотосинтезирующих пигментов обеспечивало использование светодиодов при наибольшей эффективности в отношении хлорофиллов светильника марки *Арлайт*, а каротиноидов – светильника марки *Эвиар*, применение которого обеспечивало также наиболее выраженную активизацию биосинтеза данных пигментов, в том числе β -каротина, и в плодах томата. Показано, что несмотря на максимальную насыщенность пигментного фонда ассимилирующих органов на фоне светодиодного освещения, наибольшее усиление накопления фотосинтезирующих пигментов в генеративных органах относительно контроля обнаружено при использовании натриевого светильника *ДНАТ*, что свидетельствовало о некотором замедлении в этот период процесса их созревания при использовании светодиодов, обусловившем данное отставание в формировании пигментного фонда.

Установлено, что лишь применение светодиодного освещения способствовало обогащению биохимического состава ассимилирующих и генеративных органов растений исследуемым комплексом органических соединений по сравнению с естественным освещением – соответственно в 1,6 и 2,6 раза при использовании светодиода марки *Арлайт* и в 1,9 и 8,0 раз при освещении светодиодом марки *Эвиар*, тогда как на фоне освещения натриевым светильником *ДНАТ*, напротив, выявлено отставание в этом плане от контроля в 1,3 и 2,5 раза соответственно, указывавшее на абсолютную неэффективность его применения. При этом наиболее значительное улучшение качественных показателей и ассимилирующих, и генеративных органов растений наблюдалось при использовании светодиода марки *Эвиар*, превосходившее таковое при освещении светодиодом марки *Арлайт* в первом случае в 1,2 раза, во втором – в 3,1 раза. Это позволяет рассматривать данный вариант опыта как наиболее эффективный в производственном эксперименте и рекомендовать использование светодиода марки *Эвиар* при выращивании томата в условиях защищенного грунта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Годнев, Т. Н. Хлорофилл: его строение и образование в растениях / Т. Н. Годнев. – Минск: Изд-во Акад. наук БССР, 1963. – 318 с.
2. Фотосинтез. Методические рекомендации к лабораторным занятиям, задания для самостоятельной работы и контроля знаний студентов / авт.-сост. Л. В. Кахнович. – Минск: Изд-во Белорус. гос. ун-та, 2003. – 88 с.
3. Продукты переработки плодов и овощей. Метод определения каротина: ГОСТ 8756.22-80. Введ. 01.01.81. Дата последнего изменения 13.07.2017 – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 6 с.
4. Корма. Методы определения содержания сухого вещества: ГОСТ 31640-2012. – Введ. 01.07.2013. – Москва: Стандартинформ, 2012. – 11 с.

5. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Ленинград, 1987. – 430 с.
6. Марсов, Н. Г. Фитохимическое изучение и биологическая активность брусники, клюквы и черники: дисс. ... канд. фармацевт. Наук / Н. Г. Марсов. – Пермь, 2006. – С. 99–101.
7. Большой практикум «Биохимия» Лабораторные работы: учеб. пособие. / сост. М. Г. Кусакина, В. И. Суворов, Л. А. Чудинова; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2012. – 148 с.
8. Swain, T. The phenolic constituents of *Prunus Domestica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents / T. Swain, W. Hillis // *J.Sci. Food Agric.* – 1959. – Vol. 10, № 1. – P. 63–68.
9. Скорикова, Ю. Г. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах / Ю. Г. Скорикова, Э.А. Шафтан // Тр. 3 Всесоюз. семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. – Свердловск, 1968. – С. 451–461.
10. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной / В. Ю. Андреев [и др.] // *Фармация.* – 2013. – № 3. – С. 19–21.
11. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье // Государственная фармакопея СССР. – М.: Медицина, 1987. – Вып. 1: Общие методы анализа. – С. 286–287.
12. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В. Д. Мятлев [и др.]. – М.: Академия, 2009. – 320 с.
13. Боровиков, В. П. STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере / В. П. Боровиков. – СПб., 2001.
14. Барабой, В. А. Биологическое действие растительных фенольных соединений / В. А. Барабой. – Киев: Наукова думка, 1976. – 260 с.
15. Влияние светодиодного освещения разного спектрального состава на морфогенез и вторичный метаболизм *Catharanthus roseus* (L). в условиях *in vitro* и закрытого грунта / Л. Г. Лёшина, О. В. Молчан, О. П. Булко, Н. А. Пушкарева, Т. Н. Кирпа-Несмиян, Е. В. Запрудская, Н. В. Кучук // XI Международная конференция «Биология клеток растений *in vitro* и биотехнология, Минск, 23-27 сентября, 2018 г. – С. 132–133.
16. Минаева, В. Г. Флавоноиды в онтогенезе растений и их практическое использование / В. Г. Минаева. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1978. – 255 с.
17. Способ ранжирования таксонов растения / Ж. А. Рупасова [и др.] / Мн.: Патент на изобретение №17648 от 08.07.2013.