УДК 581.19 : 635.649

**Т. В. Никонович**[1], кандидат биологических наук, доцент
**М. О. Моисеева**[2], кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
**Ю. В. Трофимов**[3], кандидат технических наук

[1] УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», г. Горки, Могилевская область
[2] УО «Витебская государственная академия ветеринарной медицины», г. Витебск
[3]РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси», г. Минск

# БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ ПЕРЦА СЛАДКОГО КАК РЕЗУЛЬТАТ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

## РЕЗЮМЕ

*Проведенные исследования свидетельствуют, что светодиодное освещение на начальных этапах онтогенеза не только способствует формированию хорошо развитых растений в контролируемых условиях световой культуры, но и закладывает основу для формирования плодов с более высокими биохимическими показателями. Выявлены генотипические различия ответной реакции опытных растений перца сладкого на последействие светодиодного освещения разного спектрального состава. Экспериментально доказано положительное влияние отдельных спектров светодиодного освещения, применяемых на начальных этапах онтогенеза, на качество плодов, которое проявилось в повышении содержания антоцианов на 350,0 %, а каротина – на 143,4 % в сравнении с контрольным вариантом.*

*Ключевые слова:* перец сладкий, сорт, гибрид, спектральный состав света, биохимический состав плода.

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений создания новых сортов и гибридов перца сладкого является селекция на качество, которая подразумевает в первую очередь высокое содержание в плодах витаминов, каротина, сахаров и сухих веществ [1]. По накоплению аскорбиновой кислоты перец превосходит все возделываемые овощные культуры. Некоторые сорта сладкого перца по концентрации витамина С практически равноценны черной смородине, а каротина – моркови. Витамин С участвует в обмене нуклеиновых кислот, повышает эластичность и прочность кровеносных сосудов, сопротивляемость организма инфекционным заболеваниям, препятствует заболеванию цингой. Содержание аскорбиновой кислоты в зависимости от условий выращивания составляет

в плодах технической зрелости до 272 мг%, в зрелых плодах – 132–482 мг%. Концентрируется она в основном в оболочке плода [2, с. 114].

Красящие вещества плодов перца состоят из каротиноидов, антоцианов и др. Каротин влияет на дыхание и энергетический обмен в тканях, обмен углеводов, нуклеиновых кислот, белков, холестерина, липидов. Он стимулирует рост и развитие организма человека, повышает сопротивляемость к инфекционным заболеваниям, регулирует обменные процессы в коже. Содержание каротина значительно изменяется в зависимости от сорта и колеблется в пределах от 0,2 до 4,8 мг на 100 г сырого вещества у зеленых плодов и от 0,5 до 16,7 мг – при их созревании [3, с. 4]. Антоцианы (от греч. *anthos* – цветок и *kyanos* – синий, лазоревый) – широко распространенные в природе водорастворимые пигменты растений, придающие цвет плодам, овощам, цветам. Антоцианы составляют одну из групп флавоноидов, которые не только обеспечивают многообразие окраски, но и повышают стрессоустойчивость растений, предотвращают повреждение фотолабильных молекул и фотосинтетического аппарата растительной клетки от избыточного солнечного излучения, дезактивации активных форм кислорода. Отметим, что именно последнее свойство является основой использования плодов растений, богатых антоцианами, в качестве лечебного питания, что вызывает интерес к растениям, которым свойственно высокое накопление этих соединений [4].

Каротиноидные и антоциановые пигменты обладают биологической активностью [5], что позволяет рассматривать их как биологически активные добавки, применяемые для профилактики, вспомогательной терапии и поддержки в физиологических границах функциональной активности органов и систем организма человека.

Содержание сухих веществ в плодах колеблется в пределах 6,0–27,7 %; у распространенных в производстве сортов – не более 19,3 %. Сухие вещества в плодах перца представлены в основном углеводами: сахара – 28,0–52,7 %, крахмал – 1,78–9,34, сырая клетчатка – 9,68–24,0, гемицеллюлоза – 0,85–3,14, пектиновые вещества – 4,0–13,0 %. Сахара представлены глюкозой (1,0–2,0 %), фруктозой (1,2–4,2) и сахарозой (0,1–0,8 %). В зеленых плодах (техническая спелость) сахаров меньше почти в два раза, чем в плодах биологической спелости, в том числе фруктозы – 0,9–1,7 %, глюкозы – 0,5–1,9, сахарозы – 0,1–0,8 % [6, с. 279].

Для перца характерно существенное варьирование химического состава плодов в зависимости от сорта и условий выращивания растений. Так, содержание питательных веществ и витаминов в плодах в дождливую погоду с низкой температурой значительно меньше, чем в теплую сухую [7].

Как показывают наши исследования [8–10], использование светодиодных осветителей для получения качественной рассады перца сладкого является обоснованным. Появление светодиодных светильников, постоянное повышение их световой отдачи и улучшение цветопередачи при малом энергопотреблении и значительном сроке службы показывает, что в ближайшие годы они станут одним из основных источников освещения. В искусственных условиях,

когда естественное облучение отсутствует или является незначительным, обеспечение наиболее благоприятного сочетания спектральных диапазонов в светильниках представляет закономерный научный интерес. Кроме того, представляет интерес изучение не только влияния светодиодного освещения на рассаду, но и последействия разного спектрального состава светодиодного света на качественное состояние плодов при дальнейшем выращивании растений в поликарбонатных теплицах.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследований использовались сорт Алтын, сорт Сонечны, гибрид $F_1$ Каштоўны, Гибрид 1 (Алтын×Сонечны), Гибрид 2 (Сонечны×Алтын).

В качестве источников света для получения рассады применялись светодиодные осветители с различным спектральным распределением излучения в диапазоне 380—780 нм и цветовой температурой от 2 400 до 6 500 К. Всего 11 вариантов освещения, которые обозначены порядковыми номерами, присвоенными им согласно общей нумерации, используемой в лаборатории. Варианты 12–21 – это модельный ряд светодиодных светильников серии «Светодар» производства Государственного предприятия «ЦСОТ НАН Беларуси». В этих светильниках отношение ППФ (плотность потока фотонов в диапазоне 400–700 нм) оранжево-красной полосы (607–694 нм) к ППФ синей полосы (400–495 нм) варьировалось от 1 до 20. При этом доля ППФ в диапазоне 580–607 нм (желтый) составляла от 13 до 22 %, а доля фотонов в диапазоне 495–580 нм (зеленый) – от 18 до 38 %. Вариант 11 – это светодиодный светильник, содержащий два типа светодиодов: синий, красный и дополнительный – зеленый (доля зеленого света около 2 % от ППФ в диапазоне ФАР). Контрольным источником света были люминесцентные лампы с цветовой температурой 5700 К (вариант 22).

Изучаемые образцы высаживались в теплицах кафедры сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии Белорусской государственной сельскохозяйственной академии (г. Горки) и кафедры кормопроизводства Витебской государственной академии ветеринарной медицины (г. Витебск).

Биохимический анализ качества плодов проведен в химико-экологической лаборатории УО «БГСХА» по общепринятым методикам: витамин С – титриметрическим методом по ГОСТ 24556-89, каротин – фотометрическим методом по ГОСТ 13496.17-95, растворимые углеводы – по методу Бертрана в соответствии с ГОСТ 26176-91, сухое вещество – весовым методом по ГОСТ 27548-97. Для определения содержания антоцианов использовалась Государственная фармакопея СССР (вып. 2. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье) [11].

Все измерения и определения осуществляли в 3-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторности с последующей статистической обработкой экспериментальных данных по методике, принятой для биологических исследований [12] с использованием программы Microsoft Office Excel 2007 [13, 14].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ценность гибридов и сортов перца сладкого определяется не только признаками урожайности, но и качественным составом плодов. Большое внимание уделяется содержанию в овощах сухого вещества, витаминов, микроэлементов, сахаров и других биохимических соединений, полезных для человека. Изучение последействия различного светодиодного освещения показало, что полученные плоды сортов и гибридов перца сладкого существенно отличались между собой по содержанию биологически активных веществ. Эти отличия связаны не только с биологическими особенностями генотипа, но и с влиянием последействия светодиодных источников света. В таблице 1 представлены усредненные показатели биохимического состава плодов, полученных в теплицах различных природно-климатических условий Беларуси. Плоды гибрида $F_1$ Каштоўны по содержанию сухого вещества достоверно превосходили контроль на 0,1–0,9 % при последействии 11, 14 и 16 вариантов освещения. По количеству антоцианов в два раза превысили контроль плоды, сформировавшиеся при последействии 13 и 19 вариантов освещения. Максимальное содержание витамина С отмечено в плодах при последействии 17 варианта освещения и было на уровне 227,6 мг/100 г. Контрольный вариант по данному признаку превышали также образцы, полученные при последействии 15, 19 и 14 вариантов. При последействии 14 варианта освещения выявлено и самое высокое количество растворимых углеводов в плодах – 7,0 %, что было на 1,9 % больше контрольного варианта. Плоды, полученные при последействии 16 варианта освещения, имели содержание каротина 71,5 мг/кг, что больше контрольных образцов на 32,8 мг/кг. Комплексный анализ плодов гибрида $F_1$ Каштоўны позволил определить, что при последействии 14 варианта светодиодного освещения по всем биохимическим характеристикам значения достоверно превосходили контроль. Это свидетельствует о положительном влиянии данного варианта освещения на формирование рассады, которая в последующем сформировала плоды более высокого качества.

Плоды Гибрида 1 имели значения всех изучаемых признаков достоверно выше контроля при последействии 16, 18, 19 и 20 вариантов освещения. Однако лучшим вариантом освещения, последействие которого способствовало максимальному синтезу сухого вещества, был 17. Превышение над контрольными образцами составило 1,7 %. Наибольшее количество антоцианов отмечено у плодов, сформировавшихся при последействии 15 варианта освещения: значение этого признака было выше контрольного на 3,6 %. По содержанию витамина С высокими значениями отличались плоды при последействии 11 варианта, однако этот вариант опыта был худшим для данного генотипа по количеству антоцианов, растворимых углеводов и каротина. Максимальное накопление плодами растворимых углеводов, превышающее контрольные образцы в два раза, установлено при последействии 21 варианта освещения. Плоды, содержащие наибольшее количество каротина, сформировались при последействии 20 варианта освещения.

Таблица 1 – Биохимические характеристики плодов перца сладкого в вариантах опыта с последействием светодиодного освещения

| Вариант освещения | Сухое вещество, % | | Антоцианы, % | | Витамин С, мг/100 г | | Растворимые углеводы, % | | Каротин, мг/кг | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ | t | $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ | t | $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ | t | $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ | t | $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ | t |
| Гибрид $F_1$ Каштоўны | | | | | | | | | | |
| Контроль | 8,2±0,1 | | 2,9±0,1 | | 170,4±0,1 | | 5,1±0,1 | | 38,7±0,1 | |
| 11 | 8,3±0,1 | 1,2 | 4,3±0,1 | 17,1* | 171,0±0,1 | 7,3* | 5,2±0,1 | 1,2 | 43,9±0,1 | 63,7* |
| 12 | 6,5±0,1 | –20,8* | 4,7±0,1 | 22,0* | 165,1±0,1 | –64,9* | 4,9±0,1 | –2,4 | 43,7±0,1 | 61,2* |
| 13 | 7,7±0,1 | –6,1* | 6,1±0,1 | 39,2* | 168,6±0,1 | –22,0* | 5,2±0,1 | 1,2 | 48,0±0,1 | 113,9* |
| 14 | 8,6±0,1 | 4,9* | 4,8±0,1 | 23,3* | 181,1±0,1 | 131,0* | 7,0±0,1 | 23,3* | 66,8±0,1 | 344,2* |
| 15 | 7,7±0,1 | –6,1* | 4,4±0,1 | 18,4* | 184,5±0,1 | 172,7* | 5,2±0,1 | 1,2 | 39,8±0,1 | 13,5* |
| 16 | 9,1±0,1 | 11,0* | 2,6±0,1 | –3,7* | 177,6±0,1 | 88,2* | 5,1±0,1 | 0,0 | 71,5±0,1 | 401,7* |
| 17 | 8,1±0,1 | –1,2 | 2,2±0,1 | –8,6* | 227,6±0,1 | 700,6* | 4,6±0,1 | –6,1* | 29,5±0,1 | –112,7* |
| 18 | 8,2±0,1 | 0,0 | 3,4±0,1 | 6,1* | 172,4±0,1 | 24,5* | 5,1±0,1 | 0,0 | 36,3±0,1 | –29,4* |
| 19 | 8,1±0,1 | –1,2 | 6,3±0,1 | 41,6* | 193,3±0,1 | 280,5* | 5,2±0,1 | 1,2 | 43,2±0,1 | 55,1* |
| 20 | 7,1±0,1 | –13,5* | 5,0±0,1 | 25,7* | 170,7±0,1 | 3,7* | 5,7±0,1 | 7,3* | 33,0±0,1 | –69,8* |
| 21 | 7,6±0,1 | –7,4* | 3,1±0,6 | 0,4 | 179,2±0,1 | 107,8* | 4,9±0,1 | –2,4 | 23,7±0,1 | –183,7* |
| Гибрид 1 | | | | | | | | | | |
| Контроль | 5,6±0,1 | | 5,5±0,1 | | 132,4±0,1 | | 2,8±0,1 | | 14,3±0,1 | |
| 11 | 6,1±0,1 | 6,1* | 2,7±0,1 | –34,3* | 181,0±0,1 | 595,2* | 1,7±0,1 | –13,5* | 8,8±0,1 | –62,7* |
| 12 | 6,9±0,1 | 15,9* | 7,1±0,1 | 19,6* | 156,9±0,1 | 300,1* | 2,9±0,0 | 1,7 | 11,8±0,1 | –30,6* |
| 13 | 6,8±0,1 | 14,7* | 7,1±0,1 | 19,6* | 177,4±0,1 | 551,1* | 4,8±0,1 | 24,5* | 8,3±0,1 | –73,5* |
| 14 | 7,1±0,1 | 18,4* | 7,1±0,1 | 19,6* | 152,8±0,1 | 249,8* | 3,5±0,1 | 8,6* | 14,1±0,0 | –3,5* |
| 15 | 6,5±0,1 | 11,0* | 9,1±0,1 | 44,1* | 172,2±0,1 | 487,4* | 3,2±0,1 | 4,9* | 12,2±0,1 | –25,7* |
| 16 | 7,0±0,1 | 17,2* | 6,5±0,1 | 12,2* | 144,7±0,1 | 150,6* | 5,2±0,1 | 29,4* | 30,3±0,1 | 196,0* |
| 17 | 7,3±0,1 | 20,8* | 5,4±0,0 | –1,7 | 167,6±0,1 | 431,1* | 4,1±0,1 | 15,9* | 21,5±0,1 | 88,2* |
| 18 | 6,6±0,1 | 12,3* | 8,4±0,1 | 35,5* | 144,7±0,1 | 150,6* | 4,5±0,1 | 20,8* | 17,5±0,1 | 39,2* |
| 19 | 7,0±0,1 | 17,2* | 7,9±0,1 | 29,4* | 154,1±0,1 | 265,8* | 4,9±0,1 | 25,7* | 32,9±0,1 | 227,8* |

Продолжение таблицы 1

| Вариант освещения | Сухое вещество, % | | Антоцианы, % | | Витамин С, мг/100 г | | Растворимые углеводы, % | | Каротин, мг/кг | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ | t | $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ | t | $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ | t | $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ | t | $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ | t |
| 20 | 6,2±0,1 | 7,4* | 7,4±0,1 | 23,3* | 144,7±0,1 | 150,6* | 4,0±0,1 | 14,7* | 34,8±0,1 | 251,1* |
| 21 | 6,9±0,1 | 15,9* | 4,2±0,1 | –15,9* | 155,8±0,1 | 286,6* | 5,6±0,1 | 34,3* | 13,0±0,1 | –15,9* |
| Гибрид 2 | | | | | | | | | | |
| Контроль | 5,0±0,1 | | 4,2±0,0 | | 133,1±0,1 | | 3,8±0,1 | | 17,2±0,1 | |
| 11 | 6,6±0,1 | 19,6* | 4,2±0,0 | 1,0 | 213,8±0,1 | 988,4* | 4,6±0,1 | 9,8* | 13,9±0,1 | –40,4* |
| 12 | 7,3±0,1 | 28,2* | 5,7±0,1 | 26,0* | 152,9±0,1 | 242,5* | 4,6±0,1 | 9,8* | 30,5±0,1 | 162,9* |
| 13 | 6,4±0,1 | 17,2* | 4,0±0,1 | –3,5* | 150,7±0,1 | 199,9* | 4,5±0,1 | 8,6* | 14,6±0,1 | –31,8* |
| 14 | 7,3±0,1 | 28,2* | 4,8±0,1 | 10,4* | 136,4±0,1 | 40,4* | 4,1±0,1 | 3,7* | 14,3±0,1 | –35,5* |
| 15 | 7,7±0,1 | 33,1* | 2,9±0,1 | –22,5* | 198,0±0,1 | 794,9* | 6,0±0,1 | 26,9* | 10,9±0,1 | –77,2* |
| 16 | 7,6±0,1 | 31,8* | 3,2±0,1 | –17,3* | 208,2±0,1 | 918,6* | 4,9±0,1 | 13,5* | 8,9±0,1 | –101,7* |
| 17 | 6,8±0,1 | 22,1* | 4,3±0,0 | 4,0* | 145,6±0,1 | 153,1* | 5,7±0,1 | 23,3* | 22,2±0,1 | 61,2* |
| 18 | 7,2±0,1 | 26,9* | 4,3±0,0 | 4,0* | 231,8±0,1 | 1 208,8* | 3,8±0,0 | 0,0 | 6,5±0,1 | –131,0* |
| 19 | 4,2±0,1 | –9,8* | 10,9±0,1 | 116,0* | 149,0±0,1 | 194,7* | 2,3±0,1 | –18,4* | 15,3±0,1 | –23,3* |
| 20 | 6,9±0,1 | 23,3* | 3,1±0,1 | –19,1* | 141,4±0,1 | 101,7* | 4,3±0,1 | 6,1* | 22,7±1,7 | 3,3* |
| 21 | 7,2±0,1 | 26,9* | 4,3±0,0 | 4,0* | 139,7±0,1 | 80,8* | 4,3±0,1 | 6,1* | 23,9±0,1 | 82,1* |
| Алтын | | | | | | | | | | |
| Контроль | 6,5±0,1 | | 3,2±0,1 | | 140,8±0,1 | | 4,3±0,1 | | 16,0±0,1 | |
| 11 | 7,2±0,1 | 8,6* | 4,3±0,1 | 13,5* | 213,4±0,2 | 391,0* | 4,9±0,1 | 7,3* | 18,1±0,1 | 25,7* |
| 12 | 7,4±0,1 | 11,0* | 2,6±0,1 | –7,3* | 212,6±0,1 | 879,4* | 4,9±0,1 | 7,3* | 13,0±0,1 | –36,7* |
| 13 | 8,6±0,1 | 25,7* | 0,9±0,1 | –28,2* | 103,5±0,1 | –456,8* | 4,9±0,1 | 7,3* | 10,0±0,1 | –73,5* |
| 14 | 7,1±0,1 | 7,4* | 5,1±0,1 | 23,3* | 162,5±0,1 | 265,8* | 4,1±0,0 | –3,5* | 34,0±0,1 | 220,5* |
| 15 | 6,7±0,0 | 3,5* | 3,9±0,1 | 8,6* | 212,1±0,1 | 873,2* | 4,2±0,0 | –1,7 | 25,3±0,1 | 113,9* |
| 16 | 7,7±0,1 | 14,7* | 3,5±0,1 | 3,7* | 184,5±0,1 | 535,2* | 4,1±0,0 | –3,5* | 18,3±0,1 | 28,2* |
| 17 | 6,7±0,0 | 3,5* | 3,4±0,0 | 3,5* | 206,9±0,1 | 809,6* | 3,4±0,1 | –11,0* | 7,4±0,1 | –105,3* |
| 18 | 5,7±0,1 | –9,8* | 10,8±0,1 | 93,1* | 171,0±0,1 | 369,9* | 4,1±0,0 | –3,5* | 20,5±0,1 | 55,1* |

Окончание таблицы 1

| Вариант освещения | Сухое вещество, % | | Антоцианы, % | | Витамин С, мг/100 г | | Растворимые углеводы, % | | Каротин, мг/кг | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ | t | $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ | t | $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ | t | $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ | t | $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ | t |
| 19 | 7,0±0,1 | 6,1* | 11,3±0,1 | 99,2* | 213,8±0,1 | 894,1* | 4,6±0,1 | 3,7* | 6,8±0,1 | –112,7* |
| 20 | 8,7±0,1 | 26,9* | 2,1±0,1 | –13,5* | 230,2±0,1 | 1 094,9* | 4,9±0,1 | 7,3* | 19,9±0,1 | 47,8* |
| 21 | 6,2±0,1 | –3,7* | 2,8±0,1 | –4,9* | 203,5±0,1 | 767,9* | 2,0±0,1 | –28,2* | 9,4±0,1 | –80,8* |
| Сонечны | | | | | | | | | | |
| Контроль | 4,8±0,1 | | 1,8±0,1 | | 174,2±0,1 | | 2,6±0,1 | | 19,7±0,1 | |
| 11 | 5,0±0,1 | 2,5 | 4,3±0,1 | 30,6* | 155,6±0,1 | –227,8* | 3,0±0,1 | 4,9* | 8,0±0,1 | –143,3* |
| 12 | 5,5±0,1 | 8,6* | 5,1±0,1 | 40,4* | 217,3±0,1 | 527,9* | 2,7±0,0 | 1,7 | 6,2±0,1 | –165,3* |
| 13 | 5,6±0,1 | 9,8* | 7,8±0,1 | 73,5* | 189,7±0,1 | 189,8* | 2,9±0,1 | 3,7* | 7,0±0,1 | –155,5* |
| 14 | 7,0±0,1 | 26,9* | 4,0±0,1 | 26,9* | 145,6±0,1 | –350,3* | 4,1±0,1 | 18,4* | 11,9±0,1 | –95,5* |
| 15 | 6,4±0,1 | 19,6* | 6,5±0,1 | 57,6* | 182,8±0,1 | 105,3* | 4,8±0,1 | 26,9* | 20,9±0,1 | 14,7* |
| 16 | 5,7±0,1 | 11,0* | 7,6±0,1 | 71,0* | 174,2±0,2 | 0,0 | 2,7±0,0 | 1,7 | 27,2±0,1 | 91,9* |
| 17 | 5,7±0,1 | 11,0* | 6,2±0,1 | 53,9* | 155,8±0,1 | –225,4* | 2,3±0,1 | –3,7* | 10,0±0,1 | –118,8* |
| 18 | 5,0±0,0 | 3,5* | 8,1±0,1 | 77,2* | 191,2±0,1 | 208,2* | 3,0±0,1 | 4,9* | 5,3±0,1 | –176,4* |
| 19 | 6,1±0,1 | 15,9* | 7,7±0,1 | 72,3* | 227,6±0,1 | 654,0* | 5,4±0,1 | 34,3* | 5,2±0,1 | –177,6* |
| 20 | 5,4±0,1 | 7,4* | 5,7±0,1 | 47,8* | 184,5±0,1 | 126,1* | 3,0±0,1 | 4,9* | 7,5±0,1 | –149,4* |
| 21 | 7,0±0,1 | 26,9* | 2,4±0,1 | 7,3* | 223,2±0,1 | 600,1* | 2,7±0,0 | 1,7 | 5,3±0,1 | –176,4* |

* Статистически значимые по t-критерию Стьюдента различия с контролем при $P < 0,05$.

Анализ качества плодов Гибрида 2 позволил установить, что при последействии 12 и 17 вариантов освещения значения всех изучаемых признаков были достоверно выше контрольных. Последействие 12 варианта способствовало максимальному для этого генотипа синтезу в плодах каротина, что составило 30,5 мг/кг и было в 1,8 раза больше контроля. Наибольшее количество сухого вещества (7,7 %) и растворимых углеводов (6,0 %) плоды накопили при последействии 15 варианта. Лидерами по количеству антоцианов, в 2,5 раза превышающими контроль, являлись плоды, полученные при последействии 19 варианта. При последействии 18 варианта освещения содержание витамина С было на 98,7 мг/100 г выше контрольного варианта.

В отличие от гибридов, сорта перца сладкого Алтын и Сонечны только при одном варианте последействия светодиодного освещения сформировали плоды с достоверно превышающими контроль значениями по всем изучаемым биохимическим показателям качества. Для сорта Алтын – это 11 вариант, для сорта Сонечны – 15 вариант освещения. Однако максимальные количества биологически активных веществ в плодах установлены при совершенно разных условиях последействия светодиодного освещения. Так, плоды сорта Алтын при последействии 20 варианта имели наибольшее количество сухого вещества и витамина С. Первый признак находился на уровне 8,7 %, что выше контроля на 2,2 %. Второй составлял 230,2 мг/100 г, что превосходило контроль в 1,6 раза. Четыре варианта последействия светодиодного освещения способствовали максимальному накоплению растворимых углеводов: 11, 12, 13 и 20 варианты. Максимальное количество каротина в плодах, превышающее в 2,1 раза контроль, было после 14 варианта освещения.

В большинстве вариантов исследований сорта Сонечны по изучаемым биохимическим характеристикам, кроме содержания каротина, установлены достоверные превышения над контрольным вариантом. Наибольшее количество сухого вещества имели плоды, сформировавшиеся при последействии 14 и 21 вариантов: превышение составило 2,2 %. Плоды, полученные при последействии 18 варианта освещения, имели в 4,5 раза выше содержание антоцианов, что соответствовало 8,1 %. При последействии 19 варианта количество витамина С и растворимых углеводов составило 227,6 мг/100 г и 5,4 %, что было соответственно на 53,4 мг/100 г и 2,8 % больше, чем в контрольном варианте. Достоверное превышение в 1,4 раза по содержанию каротина выявлено при последействии 16 варианта освещения.

При анализе относительных различий с контролем биохимических характеристик плодов перца сладкого в вариантах опыта с последействием светодиодного освещения различного спектрального состава было установлено значительное превышение по некоторым показателям качественного состава (табл. 2). Так, у Гибрида 1 и Гибрида 2 плоды, полученные при последействии всех экспериментальных вариантов освещения, имели содержание витамина С на 2,5–74,2 % выше контроля. По данному признаку значительные превышения отмечены у плодов сорта Алтын при большинстве вариантов освещения, что свидетельствует о возможности выявления условий освещения,

Таблица 2 – Относительные различия с контролем биохимических характеристик плодов перца сладкого в вариантах опыта с последействием светодиодного освещения различного спектрального состава, %

| Вариант освещения | Сухое вещество | Антоцианы | Витамин С | Растворимые углеводы | Каротин | Суммарный эффект* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Гибрид $F_1$ Каштоўны | | | | | | |
| 11 | – | **48,3** | **0,4** | – | **13,4** | 62,1 |
| 12 | –20,7 | **62,1** | –3,1 | – | **12,9** | 51,2 |
| 13 | –6,1 | **110,4** | –1,1 | – | **24,0** | 127,2 |
| 14 | **4,9** | **65,5** | **6,3** | **37,3** | **72,6** | 186,6 |
| 15 | –6,1 | **51,7** | **8,3** | – | **2,8** | 56,7 |
| 16 | **11,0** | –10,4 | **4,2** | – | **84,8** | 89,6 |
| 17 | – | –24,1 | **33,6** | –9,8 | –23,8 | –24,1 |
| 18 | – | **17,2** | **1,2** | – | –6,2 | 12,2 |
| 19 | – | **117,2** | **13,4** | – | **11,6** | 142,2 |
| 20 | –13,4 | **72,4** | **0,2** | **11,8** | –14,7 | 56,3 |
| 21 | –7,3 | – | **5,2** | – | –38,8 | –40,9 |
| Гибрид 1 | | | | | | |
| 11 | **8,9** | –50,9 | **36,7** | –39,3 | –38,5 | –83,1 |
| 12 | **23,2** | **29,1** | **18,5** | – | –17,5 | 53,3 |
| 13 | **21,4** | **29,1** | **34,0** | **71,4** | –42,0 | 13,9 |
| 14 | **26,8** | **29,1** | **15,4** | **25,0** | –1,4 | 94,9 |
| 15 | **16,1** | **65,5** | **30,1** | **14,3** | –14,7 | 111,3 |
| 16 | **25,0** | **18,2** | **9,3** | **85,7** | **111,9** | 250,1 |
| 17 | **30,4** | – | **26,6** | **46,4** | **50,4** | 153,8 |
| 18 | **17,9** | **52,7** | **9,3** | **60,7** | **22,4** | 163,0 |
| 19 | **25,0** | **43,6** | **16,4** | **75,0** | **130,1** | 290,1 |
| 20 | **10,7** | **34,5** | **9,3** | **42,9** | **143,4** | 240,8 |
| 21 | **23,2** | –23,6 | **17,7** | **100,0** | –9,1 | 108,2 |
| Гибрид 2 | | | | | | |
| 11 | **32,0** | – | **60,6** | **21,1** | –19,2 | 94,5 |
| 12 | **46,0** | **35,7** | **14,9** | **21,1** | **77,3** | 195,0 |
| 13 | **28,0** | –48 | **13,2** | **18,4** | –15,1 | 39,7 |
| 14 | **46,0** | **14,3** | **2,5** | **7,9** | –16,9 | 53,8 |
| 15 | **54,0** | –31,0 | **48,8** | **57,9** | –36,6 | 93,1 |
| 16 | **52,0** | –31,0 | **56,4** | **29,0** | –48,3 | 57,8 |
| 17 | **36,0** | **2,4** | **9,4** | **50,0** | **29,1** | 126,9 |
| 18 | **44,0** | **2,4** | **74,2** | – | –62,2 | 58,4 |
| 19 | –16,0 | **159,5** | **12,0** | –39,5 | –11,1 | 104,9 |
| 20 | **38,0** | –26,2 | **6,2** | **13,2** | **32,0** | 63,2 |
| 21 | **44,0** | **2,4** | **5,0** | **13,2** | **39,0** | 103,6 |
| Алтын | | | | | | |
| 11 | **10,8** | **34,4** | **51,6** | **14,0** | **13,1** | 123,9 |
| 12 | **13,9** | –18,8 | **51,0** | **14,0** | –18,8 | 41,3 |
| 13 | **32,3** | –71,9 | -26,5 | **14,0** | –37,5 | –89,6 |
| 14 | **9,2** | **59,4** | **15,4** | –4,7 | **112,5** | 191,8 |

Окончание таблицы 2

| Вариант освещения | Сухое вещество | Антоциа-ны | Витамин С | Раство-римые углеводы | Каротин | Суммар-ный эффект* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 15 | **3,1** | **28,9** | **50,6** | – | **58,1** | 140,7 |
| 16 | **18,5** | **9,4** | **31,0** | –4,7 | **14,4** | 68,6 |
| 17 | **3,1** | **6,3** | **47,0** | –20,9 | –53,8 | –18,3 |
| 18 | –12,3 | **237,5** | **21,4** | –4,7 | **28,1** | 270,0 |
| 19 | **7,7** | **253,1** | **51,8** | **7,0** | –57,5 | 262,1 |
| 20 | **33,9** | –34,4 | **63,5** | **14,0** | **24,4** | 101,4 |
| 21 | –4,6 | –12,5 | **44,5** | –53,5 | –41,3 | –67,4 |
| Сонечны | | | | | | |
| 11 | – | **138,9** | –10,7 | **15,4** | –59,4 | 84,2 |
| 12 | **14,6** | **183,3** | **24,7** | – | –68,5 | 154,1 |
| 13 | **16,7** | **333,3** | **8,9** | **11,5** | –64,5 | 305,9 |
| 14 | **45,8** | **122,2** | –16,4 | **57,7** | –39,6 | 169,7 |
| 15 | **33,3** | **261,1** | **4,9** | **84,6** | **6,1** | 390,0 |
| 16 | **18,8** | **322,2** | – | – | **38,1** | 379,1 |
| 17 | **18,8** | **244,4** | –10,6 | –11,5 | –49,2 | 191,9 |
| 18 | **4,2** | **350,0** | **9,8** | **15,4** | –73,1 | 306,3 |
| 19 | **27,1** | **327,8** | **30,7** | **107,7** | –73,6 | 419,7 |
| 20 | **12,5** | **216,7** | **5,9** | **15,4** | –61,9 | 188,6 |
| 21 | **45,8** | **33,3** | **28,1** | – | –73,1 | 34,1 |

Примечание. Прочерк (–) означает отсутствие статистически значимых по t-критерию Стьюдента различий с контролем при $P < 0,05$.

* Суммарный эффект установлен путем сложения данных столбцов 2, 3, 4, 5, 6, с учетом их знака.

которые на начальных этапах онтогенеза способствуют развитию растений, способных формировать плоды со значительным количеством витамина С. Такая же закономерность установлена и по содержанию сухого вещества в плодах Гибрида 1, Гибрида 2 и сортов Алтын, Сонечны. Значительные превышения (на 33,3–350,0 %) у плодов сорта Сонечны отмечены по количеству антоцианов, причем во всех экспериментальных вариантах. Больше всего не зависело от качества света, влияющего на растения на начальных этапах онтогенеза, содержание в плодах каротина. Лишь в отдельных вариантах последействие светодиодного освещения проявилось превышением над контролем на 11,6–84,8 % у гибрида $F_1$ Каштоўны, 22,4–143,4 – у Гибрида 1, 29,1–77,3 – у Гибрида 2, 13,1–112,5 – у сорта Алтын и на 6,1–38,1 % – у сорта Сонечны.

Анализ повариантного суммирования всех выявленных эффектов от последействия светодиодного освещения на биохимический состав плодов свидетельствует о наиболее выраженной реакции гибридов и сортов на 12, 14, 15, 16, 18, 19 и 20 варианты освещения, представленной в виде более высоких значений содержания в плодах полезных биологически активных соединений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют, что светодиодное освещение не только способствует формированию качественных растений [15, 16] в контролируемых условиях световой культуры, но и закладывает основу для формирования плодов с более высокими биохимическими показателями. Причем эта закономерность выявлена как для гибридов, так и для сортов перца сладкого.

Таким образом, несмотря на выявленные генотипические различия ответной реакции опытных растений перца сладкого на последействие светодиодного освещения разного спектрального состава, следует считать экспериментально доказанным наличие благоприятного влияния отдельных спектров светодиодного освещения на начальных этапах онтогенеза на качество плодов. На основании проведенных исследований с материалом, полученным в тепличной культуре в двух регионах Беларуси, отличающихся по природно-климатическим условиям, были выявлены условия освещения, последействие которых проявилось в получении плодов с содержанием антоцианов на 350,0 %, каротина на 143,4 % больше контрольного варианта. Необходимо тщательно подбирать световые условия при выращивании рассады перца сладкого, поскольку от этого также зависит качество конечной продукции.

### Список использованных источников

1. Создание гибридов перца сладкого с высокими качественными показателями плодов / М. О. Моисеева [и др.] // Сб. тез. Моск. междунар. летних экологических школ MOSES 2013 и 2014 гг. / РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева. – М., 2014. – С. 143–145.

2. Дьяченко, В. С. Овощи и их пищевая ценность / В. С. Дьяченко. – М. : Россельхозиздат, 1979. – 159 с.

3. Гикало, Г. С. Перец / Г. С. Гикало. – М. : Колос,1982. – 119 с.

4. Запрометов, М. Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях / М. Н. Запрометов. – М. : Наука, 1993. – 272 с.

5. Исследование натуральных каротиноидно-антоциановых красителей / П. Н. Саввин [и др.] // Химия раст. сырья. – 2010. – № 4. – С. 135–138.

6. Борисов, В. А. Перец сладкий. Пищевые и целебные свойства / В. А. Борисов, С. С. Литвинов, А. В. Романова // Качество и лежкость овощей. – М., 2003. – С. 377–388.

7. Лежкость и качество плодов в процессе хранения, как перспективное направление селекции перца / Ю. Г. Скрипников [и др.] // Интродукция нетрадиционных и редких растений : материалы VIII Междунар. науч.-метод. конф., Мичуринск, 8–12 июня 2008 г. / МичГАУ, ВНИИ садоводства им. И. В. Мичурина, ВНИИСиСОК. – Мичуринск : Изд-во Мичуринского ГАУ, 2008. – Т. 3. – С. 274–276.

8. Влияние спектрального состава света на синтез антоцианов и качество плодов перца сладкого / М. О. Моисеева [и др.] // Пища, экология, качество :

сб. материалов XVI Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т. – Барнаул, 2019. – Т. 2. – С. 66–69.

9. Моисеева, М. О. Светодиодное освещение – фактор получения качественной рассады перца сладкого / М. О. Моисеева, Т. В. Никонович, Ю. В. Трофимов // Перспективы научно-технологического развития агропромышленного комплекса России : сб. материалов Междунар. науч. конф.; Смоленская гос. с.-х. акад. – Смоленск, 2019. – С. 62–65.

10. Влияние спектрального состава света на начальных этапах онтогенеза на синтез антоцианов и формирование растений перца сладкого / М. О. Моисеева [и др.] // Материалы студенческой науч.-практ. конф. КФ РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева с международным участием / Рос. гос. аграр. ун-т – МСХА им. К. А. Тимирязева, Калужский фил. – Калуга, 2018. – С. 87–91.

11. Государственная фармакопея СССР / М-во здравоохр. СССР. – 11-е изд., доп. – М. : Медицина,1991. – Вып. 2 : Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье. – 400 с.

12. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений / В. Д. Мятлев [и др.]. – М. : Академия, 2009. – 314 с.

13. Боровиков, В. П. STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере / В. П. Боровиков. – СПб. : Питер, 2001. – 650 с.

14. Способ ранжирования таксонов растений : пат. BY 17648 / Ж. А. Рупасова, В. Н. Решетников, А. П. Яковлев. – Дата публ. 30.10.13.

15. Никонович, Т. В. Влияние светодиодного освещения на качество рассады перца сладкого / Т. В. Никонович, М. О. Моисеева, Ю. В. Трофимов // Овощеводство : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т овощеводства ; редкол.: А. И. Чайковский (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2020. – Вып. 28. – С. 60–71.

16. Влияние последействия светодиодного освещения на продуктивность растений перца сладкого / Т. В. Никонович [и др.] // Овощеводство : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т овощеводства ; редкол.: А. И. Чайковский (гл. ред) [и др.]. – Минск, 2020. – Вып. 28. – С. 71–82.

*Поступила в редакцию 15 ноября 2021 г.*

**T. V. Nikonovich, M. O. Moiseeva, Yu. V. Trofimov**

## BIOCHEMICAL COMPOSITION OF SWEET PEPPER FRUITS AS A RESULT OF THE LED LIGHTING AFTEREFFECT

SUMMARY

*The results obtained indicate that LED lighting at the initial stages of ontogenesis contributes not only to the formation of well-developed plants under the controlled lightning conditions, but also lays the foundation for the formation of fruits with higher biochemical parameters. Genotypic differences*

*in the response of experimental sweet pepper plants to the aftereffect of LED lighting of different spectral composition have been revealed. It was experimentally proved that there is a positive effect of an individual spectrum of LED lighting, used at the initial stages of ontogenesis, on the quality of fruits, which manifested itself in an increase in the content of anthocyanin by 350.0 %, and carotene – by 143.4 %, compared with the no treatment variant.*

*Key words:* sweet pepper, variety, hybrid, spectral composition of light, biochemical composition of a fruit.