УДК 535.625.3:635.64

Т. В. Никонович[1], кандидат биологических наук, доцент кафедры сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии
М. О. Моисеева[2], кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой кормопроизводства
Ю. В. Трофимов[3], кандидат технических наук, директор

[1] УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», г. Горки

[2] УО «Витебская государственная академия ветеринарной медицины», г. Витебск

[3] РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси», г. Минск

ВЛИЯНИЕ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА КАЧЕСТВО РАССАДЫ ПЕРЦА СЛАДКОГО

РЕЗЮМЕ

Любые отклонения от оптимальных условий произрастания могут являться для перца сладкого стрессовым фактором, который приводит к истощению и угнетению растений. Установлены варианты освещения, значительно повышающие количественные характеристики растений и позволяющие получать качественную рассаду перца сладкого в контролируемых условиях. Установлено, что позитивное влияние на морфометрические показатели всех изучаемых генотипов оказало светодиодное освещение с потоком фотонов в диапазоне длин волн 400–800 нм 69,1 мкмоль/с (вариант 17), обеспечивающее увеличение значений показателей на 26,2–100,3 %.

Ключевые слова: перец сладкий, рассада, спектральный состав света, антоцианы.

ВВЕДЕНИЕ

Перец сладкий занимает лидирующее место среди овощных культур по содержанию в плодах витамина С и провитамина А. Плоды перца также богаты рутином, витаминами группы В, сахарами, летучими эфирными маслами, минеральными солями, селеном.

В условиях Республики Беларусь значительная часть овощных культур выращивается по рассадной технологии. Высокая продуктивность растений всецело зависит от качества рассады. В свою очередь, качество рассады определяется большим числом факторов (тепло, свет, вода, воздух, питательные вещества), все они равноценны и незаменимы. Учитывая, что в производственных условиях наблюдается большая изменчивость нерегулируемых экологических факторов, очень важно создавать продуктивные сорта и гетерозисные

гибриды, способные стабильно реализовывать свои высокие потенциальные возможности. М. И. Мамедов и О. Н. Пышная отмечали возможность использования фотосинтетических показателей, таких как фотовосстановительная активность хлоропластов, содержание пигментов (таких как антоцианы), для отбора продуктивных форм в процессе селекции и улучшения их адаптивной способности к неблагоприятным факторам среды [6].

Антоциановая индукция, вызванная определенными факторами окружающей среды, а также предсказуемость появления антоцианинов из года в год в периоды специфических этапов развития листа, их яркая выраженность в особых экологических нишах, возможно, способствует адаптации растительных организмов к тем или иным стрессовым условиям. Антоциановые формы культурных растений часто обладают ценными хозяйственно-биологическими признаками: качество продукции, скороспелость, устойчивость к стрессам, болезням и вредителям. Антоцианы играют значительную роль в пассивном и активном иммунитете растений к болезням. У высокогорных растений антоцианы, поглощая избыток солнечной радиации, защищают хлорофилл и наследственный аппарат клетки от повреждений. Таким образом, все физиологические процессы, протекающие в растении, напрямую зависят от интенсивности света и его спектрального состава [14, 15].

Для получения рассады чаще всего используют лампы дневного света (белый свет). Однако изучено, что морфогенетические процессы у растений интенсивнее протекают при различных световых спектрах и зависят от биологических особенностей культуры. Таким образом, изменяя физические параметры культивирования, можно направлять физиологические процессы, происходящие в растениях, в желаемую сторону.

Применение современных источников света – светодиодных облучателей (СД) позволяет резко сократить энергозатраты на выращивание растений за счет высокой светоотдачи, длительного рабочего ресурса и возможности регулировать спектр излучения. Светодиоды могут служить дополнительными облучателями или полностью заменять традиционные источники света при выращивании растений. Положительные результаты при использовании СД были получены на различных культурах (картофель, базилик, перец сладкий) [3, 4, 9, 12, 13].

По мнению некоторых ученых, с увеличением интенсивности светового потока активность полихроматического света в накоплении антоцианов, возможно, связана с повышением уровня фотоокислительных процессов, запускающих данные биосинтетические реакции [7, 8]. Активация биосинтеза антоцианов в листьях исследуемых растений может защитить фотосинтетическую систему хлоропластов и ДНК клетки от УФ-света и света высокой интенсивности за счет снижения уровня фотоингибирования в растительных тканях.

Биосинтез антоцианов зависит от спектрального состава света: при равенстве квантов синего (480 нм), зеленого (498 нм), оранжевого (618 нм), красного (632 нм) и дальнего красного света (715 нм) наибольшую активность

в листьях кукурузы, горчицы и ячменя проявил монохроматический синий и дальний красный свет.

Антоцианы в результате поглощения и преобразования энергии сине-фиолетовых и зеленых лучей могут влиять на световой внутриклеточный режим и способствовать более эффективному использованию солнечной энергии (перенос энергии от антоцианов к хлорофиллу, трансформация поглощенного света в более длинноволновую область), что может свидетельствовать об участии данных пигментов в фотоэнергетике растительной клетки в качестве дополняющих к пластидным пигментам [8].

В связи с этим цель исследований заключалась в оценке влияния светодиодного освещения разного спектрального состава на морфометрические параметры растений перца сладкого, а также на содержание антоцианов в их листостебельной массе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнялись в условиях биотехнологической лаборатории кафедры сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. Семена высевались в стаканчики 10×10 см, заполненные ионообменным субстратом Триона. Температура культивирования рассады составляла +24 °С, фотопериод 16 часов.

В качестве источников света применялись светодиодные осветители с различным спектральным распределением излучения в диапазоне 380–780 нм и цветовой температурой от 2400 до 6500 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).

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

Сорт Сонечны. Выведен совместно учеными УО «БГСХА» и УО «ВГАВМ». Растения детерминантного типа для возделывания в теплицах, плод желтый удлиненно-цилиндрической формы, среднего размера, имеет две-три камеры, плотный, ребристость слабая, среднеспелый.

Сорт Алтын. Среднеспелый сорт предназначен для выращивания в пленочных теплицах. Плоды имеют желтую окраску, кубовидной формы, крупные, плотные со слабой ребристостью, массой 160–170 г.

Гибрид F_1 Каштоўны. Раннеспелый гетерозисный гибрид для пленочных теплиц с товарной урожайностью до 7–8 кг/м^2, массой плода 150–180 г. По содержанию витамина С превышает стандарт на 25 %, а по содержанию каротина – в 2,5 раза.

Для определения содержания антоцианов использовалась Государственная фармакопея СССР (вып. 2. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье, Москва, 1990) [5].

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 [11] с использованием программы Microsoft Office Excel 2007 [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования влияния источников светодиодного освещения на морфометрические параметры растений сортов и гибридов перца сладкого, а также на содержание антоцианов в их листостебельной массе установлена выраженная зависимость анализируемых характеристик от спектрального состава света на фоне отчетливых генотипических различий степени ее проявления.

С целью установления влияния светодиодного освещения на основные характеристики растений были определены высота растения, количество листьев, площадь листа, а также содержание антоцианов. Как следует из данных, представленных в таблице 1, изучаемые параметры у всех генотипов перца сладкого варьировали в области близких значений. Так, высота растения у гибрида F_1 Каштоўны изменялась в диапазоне 14,3–24,2 см, количество листьев – 6,7–10,7 шт., площадь листа – 8,2–25,1 см^2, содержание антоцианов – 0,22–0,61 %.

Достоверно превзошли контроль по высоте растения образцы, сформировавшиеся при 21 варианте освещения, по количеству листьев – при 17 варианте, по площади листа – при 11, 17, 18, 21 вариантах, по содержанию антоцианов – при 15, 17, 18 вариантах.

Близкие значения изучаемых показателей, равно как и диапазон их изменения, выявлены у Гибрида 1 и Гибрида 2. Так, высота растений составляла 15,7–26,7 и 13,0–24,0 см, количество листьев – 7,0–9,3 и 6,3–9,7 шт., площадь листа – 12,2–23,8 и 10,6–21,2 см^2, содержание антоцианов – 0,25–0,80 и 0,27–0,97 % соответственно. Установлено достоверное превышение в сравнении с контрольным вариантом высоты растений для Гибрида 1, полученных в условиях освещения 12, 15, 21 вариантов, по площади листа – 12, 15 вариантов, по содержанию антоцианов – 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20 вариантов. Изучаемые показатели у Гибрида 2 достоверно отличались от контроля, но значительные превышения выявлены лишь при 12 варианте освещения.

Таблица 1 – Морфометрические параметры растений перца сладкого в вариантах опыта с использованием светодиодного освещения разного спектрального состава

Вариант освещения	Высота растения, см		Количество листьев, шт.		Площадь листа, $см^2$		Содержание антоцианов, %	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	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	22,0±0,5		9,3±0,3		16,8±0,3		0,54±0,01	
11	15,7±1,2	–4,9*	10,3±0,3	2,1	18,2±0,1	4,0*	0,33±0,01	–25,7*
12	17,3±1,2	–3,6*	6,7±0,3	–5,7*	10,9±1,7	–3,4*	0,22±0,01	–39,2*
13	21,1±0,1	–1,7	7,7±0,3	–3,5*	13,6±0,1	–9,0*	0,42±0,01	–14,7*
14	14,3±0,3	–13,2*	7,7±0,3	–4,2*	8,2±1,5	–5,5*	0,34±0,01	–24,5*
15	22,7±0,1	1,5	8,0±0,0	–4,0*	16,6±0,2	–0,5	0,57±0,01	3,7*
16	20,0±0,3	–3,6*	6,7±0,3	–5,7*	12,5±1,4	–3,0*	0,36±0,01	–22,1*
17	23,0±0,3	1,9	10,7±0,3	2,8*	25,1±2,1	3,9*	0,60±0,01	7,4*
18	22,7±0,1	1,6	9,7±0,3	0,7	22,8±0,5	10,0*	0,61±0,01	8,6*
19	18,8±0,4	–4,9*	8,0±0,0	–4,0*	11,4±0,6	–8,1*	0,33±0,01	–25,7*
20	20,7±0,0	–2,8*	8,0±0,0	–4,0*	15,2±0,3	–3,7*	0,48±0,01	–7,4*
21	24,2±0,2	4,4*	9,7±0,3	0,7	23,1±1,8	3,4*	0,48±0,01	–7,4*
Гибрид 1								
Контроль	21,0±0,3		8,3±0,3		21,0±0,1		0,46±0,01	
11	21,3±0,3	0,8	9,3±0,3	2,1	19,9±0,2	–4,6*	0,35±0,01	–13,5*
12	26,7±1,2	4,6*	9,0±0,6	1,0	23,8±1,0	2,9*	0,54±0,01	9,8*
13	19,3±0,2	–5,0*	7,7±1,5	–0,5	13,4±0,3	–28,6*	0,38±0,01	–9,8*
14	17,7±0,9	–3,6*	8,0±0,6	–0,5	14,0±0,7	–9,7*	0,46±0,01	0,0
15	24,7±0,3	8,3*	7,3±1,3	–0,7	22,5±0,3	5,3*	0,75±0,01	35,5*
16	21,3±0,4	0,6	7,7±0,7	–0,9	17,3±0,9	–4,2*	0,74±0,01	34,3*
17	21,7±0,3	1,5	7,3±0,3	–2,1	18,3±0,3	–8,7*	0,64±0,01	22,1*
18	17,4±1,2	–3,0*	7,0±0,6	–2,0	14,0±1,5	–4,7*	0,69±0,01	28,2*
19	15,7±0,3	–12,1*	7,7±0,3	–1,4	12,2±1,7	–5,3*	0,67±0,01	25,7*
20	20,2±0,0	–2,9*	8,0±0,6	–0,5	19,0±0,6	–3,2*	0,80±0,01	41,6*
21	22,2±0,0	4,0*	7,3±0,9	–1,1	12,7±1,2	–6,9*	0,25±0,01	–25,7*
Гибрид 2								
Контроль	19,7±0,2		8,3±0,7		19,4±0,1		0,31±0,01	
11	18,0±0,6	–2,8*	8,0±0,6	–0,4	14,6±0,5	–10,5*	0,27±0,01	–4,9*
12	24,0±0,0	26,0*	9,7±1,3	0,9	21,2±0,6	3,0*	0,44±0,01	15,9*
13	15,7±0,9	–4,5*	6,7±0,3	–2,2	10,0±2,5	–3,7*	0,52±0,01	25,7*
14	17,7±0,3	–5,4*	7,7±0,3	–0,9	13,7±0,4	–14,9*	0,39±0,01	9,8*
15	19,2±0,1	–2,7	6,7±0,3	–2,2	13,4±0,8	–7,0*	0,42±0,01	13,5*
16	18,7±0,2	–4,2*	7,0±0,0	–2,0	13,9±1,9	–2,9*	0,67±0,01	44,1*
17	18,3±0,3	–3,6*	7,0±1,0	–1,1	13,5±0,6	–10,5*	0,54±0,01	28,2*
18	17,7±0,3	–5,4*	7,7±0,3	–0,9	13,3±0,6	–10,0*	0,68±0,01	45,3*
19	13,0±0,0	–40,0*	7,7±0,3	–0,9	11,6±1,0	–8,0*	0,37±0,01	7,4*
20	18,0±0,6	–2,8*	6,7±0,3	–2,2	13,8±0,6	–9,5*	0,82±0,01	62,5*
21	17,3±0,7	–3,4*	6,3±0,7	–2,1	10,6±2,3	–3,9*	0,97±0,01	80,8*
Сорт Алтын								
Контроль	21,5±0,3		8,7±0,3		16,8±0,1		0,42±0,01	
11	21,2±0,2	–1,0	9,7±0,3	2,1	23,9±2,3	3,2*	0,32±0,01	–5,5*

Окончание таблицы 1

Вариант освещения	Высота растения, см		Количество листьев, шт.		Площадь листа, см^2		Содержание антоцианов, %	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t
12	20,0±0,3	–3,7*	6,7±0,3	–4,2*	9,3±1,7	–4,5*	0,54±0,01	14,7*
13	21,0±0,3	–1,2	8,3±0,2	–0,9	14,8±0,4	–5,6*	0,36±0,01	–7,4*
14	16,0±0,6	–8,5*	9,3±0,7	0,9	11,2±1,0	–5,7*	0,23±0,01	–23,3*
15	24,3±0,3	6,4*	10,0±0,6	2,0	16,2±0,2	–3,7*	0,96±0,01	66,1*
16	22,0±0,3	1,2	8,0±1,5	–0,4	17,9±0,2	5,5*	0,49±0,01	8,6*
17	24,7±0,3	7,2*	8,3±0,3	–0,7	19,8±0,3	9,2*	0,66±0,01	29,4*
18	20,3±0,2	–3,5*	8,3±0,3	–0,7	19,5±0,9	3,1*	0,55±0,01	15,9*
19	19,0±0,6	–3,9*	9,0±0,0	1,0	15,0±0,1	–12,6*	0,61±0,01	23,3*
20	22,5±0,0	3,3*	7,3±0,9	–1,4	13,6±0,9	–3,5*	0,62±0,01	24,5*
21	24,3±0,3	6,4*	7,7±0,3	–2,1	14,6±0,3	–7,4*	0,62±0,01	24,5*
Сорт Сонечны								
Контроль	15,8±0,2		9,7±0,3		25,5±0,9		0,43±0,01	
11	18,2±0,6	3,7*	9,7±1,2	0,0	19,5±0,3	–6,2*	0,39±0,01	–4,9*
12	19,3±0,7	5,1*	9,3±0,9	–0,4	17,0±1,5	–4,9*	0,24±0,01	–23,3*
13	19,7±0,3	10,3*	9,7±1,8	0,0	19,0±2,0	–2,9*	0,18±0,01	–30,6*
14	14,3±0,3	–4,0*	7,0±1,0	–2,5	11,4±0,3	–14,7*	0,32±0,01	–13,5*
15	20,3±0,3	12,1*	7,3±0,3	–5,0*	17,4±0,5	–8,0*	0,46±0,01	3,7*
16	16,3±0,2	2,1	8,7±1,2	–0,8	13,2±0,1	–13,4*	0,67±0,01	29,4*
17	24,3±1,3	6,3*	10,7±0,3	2,1	23,8±0,1	–1,8	0,63±0,01	24,5*
18	19,0±0,6	5,3*	10,3±1,3	1,4	22,6±0,5	–2,8*	0,35±0,01	–9,8*
19	17,8±0,4	4,2*	10,3±1,3	0,5	15,8±1,3	–6,0*	0,51±0,01	9,8*
20	23,8±1,4	5,6*	10,0±1,2	0,3	32,8±0,9	5,6*	0,86±0,01	52,7*
21	22,3±2,2	3,0*	9,0±1,0	–0,6	25,1±0,1	–0,4	0,55±0,01	14,7*

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

У сортов Алтын и Сонечны высота растения изменялась от 16,0 до 24,7 см и от 14,3 до 24,3 см, количество листьев – 6,7–10,0 и 7,0–10,7 шт., площадь листа – 9,3–23,9 и 11,4–32,8 см^2, содержание антоцианов – 0,23–0,96 и 0,18–0,86 % соответственно. Достоверно более высокими в сравнении с контрольным вариантом были растения сорта Алтын, полученные при 15, 17, 20, 21 вариантах освещения и растения сорта Сонечны при всех вариантах освещения, кроме 14 и 16. Площадь листа у растений сорта Алтын была значительно больше при 11 варианте освещения, у сорта Сонечны – при 20 варианте. Это свидетельствует о чувствительности ассимилирующих органов растений перца сладкого к качеству светового потока. При этом синтез антоцианов у сортов Алтын и Сонечны практически при всех вариантах освещения достоверно превышал контрольные значения.

Данные таблицы 2 свидетельствуют о вариативности относительных различий с контролем вариантов опыта по морфометрическим параметрам растений перца сладкого, а также по содержанию антоцианов при использовании светодиодов различного спектрального состава. Значительная ширина приведенных диапазонов варьирования обозначенных признаков свидетельствовала об их существенной зависимости от спектрального состава источников

Таблица 2 – Относительные различия с контролем вариантов опыта с использованием светодиодов различного спектрального состава по морфометрическим параметрам растений перца сладкого, %

Вариант освещения	Высота растения, см	Количество листьев, шт.	Площадь листа, $см^2$	Содержание антоцианов, %	Совокупный эффект*
Гибрид F_1 Каштоўны					
11	–28,6	–	8,3	–38,9	–59,2
12	–21,4	–28,0	–35,1	–59,3	–143,8
13	–	–17,2	–19,1	–22,2	–58,5
14	–35,0	–17,2	–51,2	–37,0	–140,4
15	–	–14,0	–	5,6	–8,4
16	–9,1	–28,0	–25,6	–33,3	–96,0
17	–	15,1	49,4	11,1	75,6
18	–	–	35,7	13,0	48,7
19	–14,5	–14,0	–32,1	–38,9	–99,5
20	–5,9	–14,0	–9,5	–11,1	–40,5
21	10,0	–	37,5	–11,1	36,4
Гибрид 1					
11	–	–	–5,2	–23,9	–29,1
12	27,1	–	13,3	17,4	57,8
13	–8,1	–	–36,2	–17,4	–61,7
14	–15,7	–	–33,3	–	–49,0
15	17,6	–	7,1	63,0	87,7
16	–	–	–17,6	60,9	43,3
17	–	–	–12,9	39,1	26,2
18	–17,1	–	–33,3	50,0	–0,4
19	–25,2	–	–41,9	45,7	–21,4
20	–3,8	–	–9,5	73,9	60,6
21	5,7	–	–39,5	–45,7	–79,5
Гибрид 2					
11	–8,6	–	–24,7	–12,9	–46,2
12	21,8	–	9,3	41,9	73,0
13	–20,3	–	–48,5	67,7	–1,1
14	–10,2	–	–29,4	25,8	–13,8
15	–	–	–30,9	35,5	4,6
16	–5,1	–	–28,4	116,1	82,6
17	–7,1	–	–30,4	74,2	36,7
18	–10,2	–	–31,4	119,4	77,8
19	–34,0	–	–40,2	19,4	–54,8
20	–8,6	–	–28,9	164,5	127,0
21	–12,2	–	–45,4	212,9	155,3
Сорт Алтын					
11	–	–	42,3	–23,8	18,5
12	–7,0	–23,0	–44,6	28,6	–46,0
13	–	–	–11,9	–14,3	–26,2
14	–25,6	–	–33,3	–45,2	–104,1
15	13,0	–	–3,6	128,6	138,0

Окончание таблицы 2

Вариант освещения	Высота растения, см	Количество листьев, шт.	Площадь листа, $см^2$	Содержание антоцианов, %	Совокупный эффект*
16	–	–	6,6	16,7	23,3
17	14,9	–	17,9	57,1	89,9
18	–5,6	–	16,1	31,0	41,5
19	–11,6	–	–10,7	45,2	22,9
20	4,7	–	–19,1	47,6	33,2
21	13,0	–	–13,1	47,6	47,5
Сорт Сонечны					
11	15,2	–	–23,5	–9,3	–17,6
12	22,2	–	–33,3	–44,2	–55,3
13	24,7	–	–25,5	–58,1	–58,9
14	–9,5	–	–55,3	–25,6	–90,4
15	28,5	–24,7	–31,8	7,0	–21,0
16	–	–	–48,2	55,8	7,6
17	53,8	–	–	46,5	100,3
18	20,3	–	–11,4	–18,6	–9,7
19	12,7	–	–38,0	18,6	–6,7
20	50,6	–	28,6	100,0	179,2
21	41,1	–	–	27,9	69,0

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

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

освещения. При этом у всех генотипов перца сладкого прослеживалась явная общность тенденций в проявлении различий с контролем вариантов опыта с использованием светодиодов по морфометрическим признакам и содержанию антоцианов на фоне заметных межвариантных и генотипических особенностей их выраженности. Так, большинство вариантов освещения ингибировали развитие растений гибрида F_1 Каштоўны, Гибрида 1, Гибрида 2, сорта Алтын, и их высота на 3,8–35,0 % уступала контрольным растениям указанных генотипов. Вместе с тем растения сорта Сонечны превосходили контрольные на 12,7–50,6 % по высоте, что свидетельствует о положительной реакции данного генотипа на светодиодное освещение. Количество листьев и площадь листа у всех сортов и гибридов при большинстве вариантов освещения уступали контрольным растениям на 14,0–28,0 и 3,6–55,3 % соответственно. Установлен вариант освещения, при котором содержание антоцианов в растениях изучаемых генотипов значительно превосходило контрольные на 5,6–128,6 %. Это вариант 15, при котором светильники имеют спектральное соотношение R/B (красный/синий) 7,8.

Следует отметить, что светодиодное освещение определенного спектрального состава является фактором, стимулирующим синтез биологически активных веществ в клетках растений. Так, при эффективности излучения фотонов 1,89–1,93 мкмоль/(с·Вт) (варианты 20 и 21) содержание антоцианов в растениях Гибрида 2 на 164,5–212,9 % превышало их количество при

контрольном варианте освещения. При этих же вариантах освещения превышение содержания антоцианов установлено у сортов Алтын (на 47,6 %) и Сонечны (на 27,9–100,0 %).

С целью выявления варианта освещения с наиболее значительным позитивным влиянием на биометрические параметры и содержание антоцианов было проведено ранжирование вариантов опыта по совокупности показателей. Применяя общий методический подход для всех признаков, при оценке их ответной реакции на испытываемые варианты освещения было осуществлено суммирование выявленных различий с контролем с учетом их знака [10]. Установлено, что позитивное влияние на морфометрические показатели всех изучаемых генотипов оказало светодиодное освещение с потоком фотонов в диапазоне длин волн 400–800 нм 69,1 мкмоль/с (вариант 17), обеспечивающее увеличение значений показателей на 26,2–100,3 %. Наиболее выраженное стимулирующее влияние на формирование растений Гибрида 1 оказал 15 вариант освещения, Гибрида 2 – 21 вариант освещения, сорта Сонечны – 20 вариант освещения, что свидетельствует о генотипических различиях ответной реакции опытных сортов и гибридов перца сладкого на испытываемые светодиоды.

Наименее результативными для всех исследуемых генотипов перца сладкого были варианты освещения 13, 14, у которых эффективность излучения фотонов была на уровне 1,85 и 1,95 мкмоль/(с·Вт) соответственно. Эти условия освещения способствовали снижению количественных значений изучаемых признаков относительно контроля на 140 %.

Таким образом, несмотря на выявленные генотипические различия ответной реакции опытных растений перца сладкого на испытываемые осветители разного спектрального состав, установлено наличие позитивного влияния светодиодного освещения на биометрические показатели, а также содержание антоцианов. Выявлены варианты освещения, значительно повышающие количественные характеристики растений и позволяющие получать качественную рассаду перца сладкого в контролируемых условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о наличии значительных генотипических различий ответной реакции опытных растений перца сладкого на испытываемые светодиоды. Определен вариант освещения, при котором получены качественные растения всех изучаемых сортов и гибридов. Причем у опытных растений показатели количественных признаков значительно превосходили контрольные. Это светильники с потоком фотонов в диапазоне длин волн 400–800 нм 69,1 мкмоль/с. Выявлено, что при эффективности излучения фотонов 1,89 и 1,93 мкмоль/(с·Вт) содержание антоцианов в растениях превышало их количество при контрольном варианте освещения на 27,9–212,9 %. Следовательно, светодиодное освещение определенного спектрального состава является фактором, стимулирующим синтез биологически активных веществ в клетках растений.

Список использованных источников

1. Боровиков, В. П. STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере / В. П. Боровиков. – СПб. : Питер, 2001. – 688 с.

2. Бутенко, Л. И. Исследования антоцианового комплекса ягод, прошедших криообработку / Л. И. Бутенко, Ж. В. Подгорная // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 11. – С. 14–17.

3. Влияние спектрального состава света на начальных этапах онтогенеза на синтез антоцианов и формирование растений перца сладкого / М. О. Моисеевах [и др.] // Материалы студенческой науч.-практ. конф. КФ РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева с международным участием / М-во сельского хоз-ва Рос. Федерации, Рос. гос. аграр. ун-т – МСХА им. К. А. Тимирязева Калужский фил. ; ред.-издат. ком. А. А. Слипец [и др.]. – Калуга, 2018. – С. 87–91.

4. 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., Барнаул, 24–26 июня 2019 г. : в 2 т. / отв. за вып.: О. К. Мотовилов [и др.] ; АлтГУ. – Барнаул, 2019. – Т. 2. – С. 66–69.

5. Государственная фармакопея СССР / М-во здравохр. СССР ; редкол.: М. Д. Машковский (отв. ред.) [и др.]. – 11-е изд., доп. – М. : Медицина,1991. – Вып. 2: Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье. – 400 с.

6. Мамедов, М. И. Использование фотосинтетических параметров для оценки исходного материала при селекции перца и баклажана на холодостойкость / М. И. Мамедов, О. Н. Пышная // Селекция и семеноводство овощных культур в XXI веке : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 24–27 июля 2000 г.: в 2 т. / Рос. акад. с.-х наук, Всерос. науч.-исслед. ин-т селекции и семеноводства овощных культур ; ред. В. Ф. Пивоваров. – М., 2000. – Т. 2. – С. 52–54.

7. Масленников, П. В. Влияние монохроматического света на биосинтез антоцианов / П. В. Масленников, Г. Н. Чупахина // Теоретические и прикладные аспекты экологии и биологии : межвуз. сб. науч. тр. – Калининград, 2001. – С. 48–52.

8. Масленников, П. В. Влияние света различной интенсивности на биосинтез антоцианов / П. В. Масленников, Г. Н. Чупахина // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования : материалы IV междунар. симпозиума, Москва – Пущино, 20–24 июня 2001 г. ; орг. ком. П. Ф. Кононков (пред.) [и др.]. – Пущино, 2001. – С. 522–524.

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. – Смоленск, 2019. – С. 62–65.

10. Способ ранжирования таксонов растений : пат. BY 17648 / Ж. А. Рупасова, В. Н. Решетников, А. П. Яковлев. – Опубл. 30.10.2013.

11. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. Д. Мятлев [и др.]. – М. : Академия, 2009. – 320 с.

12. Фотосинтез и продуктивность растений базилика (*Ocimum basilicum* L.) при облучении различными источниками света / М. Н. Полякова [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50, № 1. – С. 124–130.

13. Фотосинтез и продуктивность растений картофеля в условиях различного спектрального облучения / Ю. Ц. Мартиросян [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2013. – № 1. – С. 107–112.

14. Hou, D. X. Potential mechanisms of cancer chemoprevention by anthocyanins / D. X. Hou // Current molecular medicine. – 2003. – № 3 (2). – P. 149–159.

15. The anthocyanins / O. M. Andersen [et al.] // Flavonoids: chemistry, biochemistry and applications. – Boca Raton, FL: CRC Press, 2006. – P. 452–471.

Поступила в редакцию 10 ноября 2020 г.

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

INFLUENCE OF LED LIGHTING ON THE QUALITY OF SWEET PEPPER SEEDLING

SUMMARY

Any deviations from optimal growing conditions can be a stress factor for sweet pepper, which leads to exhaustion and oppression of plants. Lighting options have been established that significantly increase the quantitative characteristics of plants and make it possible to obtain high-quality seedlings of sweet pepper under controlled conditions. It was found that LED lighting with a photon flux in the 400–800 nm wavelength range of 69.1 mmol/s (option 17) had a positive effect on the morphometric indicators of all studied genotypes, providing an increase in the indicator values by 26.2–100.3 %.

Key words: sweet pepper, seedling, spectral composition of light, anthocyanins.