УДК 635.649:628.9:631.559

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
М. И. Баркун[3], ведущий инженер

[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 ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ ПЕРЦА СЛАДКОГО

РЕЗЮМЕ

Проведенные исследования свидетельствуют о наличии значительных генотипических различий в реакции опытных растений перца сладкого на последействие светодиодных осветителей. Для каждого изучаемого сорта и гибрида определен вариант освещения, последействие которого способствовало формированию более продуктивных растений. Вариант освещения с потоком фотонов в диапазоне длин волн 400–800 нм на уровне 67,9 мкмоль/с и спектральным соотношением R/B (красный/синий) 20,7 оказывал положительное влияние, установленное по совокупному эффекту от последействия LED освещения для всех изучаемых сортов и гибридов, на признаки продуктивности.

Ключевые слова: перец сладкий, урожайность, спектральный состав света, масса плода, высота растения.

ВВЕДЕНИЕ

Белорусскими селекционерами проводятся научные исследования по поиску, отбору и созданию новых генотипов перца сладкого, изучению имеющегося в мире сортимента в условиях республики, а также разработке уникальных подходов и рекомендаций по возделыванию сортов и гибридов этой овощной культуры [2, 4, 7].

Выявление методов, повышающих стабильность высокого урожая у перца сладкого, является актуальным для нашего региона, характеризующегося значительными колебаниями ночных и дневных температур, недостаточным уровнем освещенности, особенно в осенне-весенний период. Как показали

наши исследования [5], 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 одними из основных источников освещения.

Эффективное использование энергии искусственного оптического излучения возможно лишь при наличии информации о требовании растений к спектральному составу света [3, 11–13]. Современная ботаническая литература делит оптическое излучение на восемь зон с определенными длинами волн, в соответствии с их влиянием на физиологические процессы в растении. Так, зону оптического излучения от 400 до 700 нм называют фотосинтетически активной радиацией ФАР (PAR). В частности, свет с длиной волны 400–500 нм (синий), необходим для обеспечения фотосинтеза и его регуляции, важен на начальной стадии развития растений, так как способствует формированию вегетативных органов, укреплению корневой системы, стебля, листьев. Спектр света с длиной волны 500–600 нм (зеленый) обладает высокой проникающей способностью, полезен для фотосинтеза оптически плотных листьев, листьев нижних ярусов, густых посевов. Видимый свет с длиной волны 600–700 нм (красный) – зона максимального фотосинтетического эффекта синтеза хлорофилла – является строго обязательным в лучистом потоке для обеспечения высокого уровня процесса фотосинтеза. Однако монохроматический красный свет может привести к ненормальному развитию или к угнетению и гибели растения. Условно принято красный свет делить на просто красный (660 нм) и дальний красный (730 нм). Большинство исследований показывает, что благодаря этому освещению растение начинает быстро развиваться по сравнению с более низким излучением, что вызывает эффект вытягивания стебля, ярко выраженное регуляторное действие, причем достаточно нескольких процентов в общем спектре [6, 10].

В искусственных условиях, когда естественное облучение отсутствует или является незначительным, обеспечение наиболее благоприятного сочетания спектральных диапазонов в светильниках представляет закономерный научный интерес. Кроме того, вызывает интерес изучение не только влияния светодиодного освещения на рассаду, но и его последействия при дальнейшем выращивании растений в поликарбонатных теплицах.

В связи с этим целью наших исследований являлась оценка последействия светодиодного освещения разного спектрального состава на биометрические признаки и показатели урожайности растений перца сладкого, выращенного в условиях поликарбонатных теплиц.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнялись в условиях защищенного грунта УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» и УО «Витебская государственная академия ветеринарной медицины». В качестве объектов

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

Схема посадки растений 70×30 см. Доза удобрений N_{60} $(P_2O_5)_{120}$ $(K_2O)_{120}$. Основные элементы технологии возделывания перца сладкого общепринятые для необогреваемых теплиц. Пасынкование растений не проводилось.

Биометрические измерения осуществлялись в фазу начала созревания плодов. Учет урожайности выполняли при достижении плодами технической спелости. Определялись следующие показатели: высота растения, см; содержание хлорофилла, мг/кг; общая урожайность, кг/м^2; товарная урожайность, кг/м^2; масса плода, г.

В качестве источников света для получения рассады применялись светодиодные осветители с различным спектральным распределением излучения в диапазоне 380–780 нм и цветовой температурой от 2400 до 6500К. Всего 11 вариантов освещения, которые обозначены порядковыми номерами, присвоенными им согласно общей нумерации, используемой в нашей 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 5700К (вариант 22).

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате оценки влияния последействия светодиодного освещения на параметры продуктивности растений перца сладкого, а также на содержание хлорофилла в их листостебельной массе, установлены выраженные закономерности проявления признаков в зависимости от воздействия определенного качества света на начальных этапах онтогенеза, на фоне отчетливых генотипических особенностей.

Для выявления специфики последействия светодиодного освещения на состояние растений и их репродуктивный потенциал были определены высота растения, содержание хлорофилла, общая и товарная урожайность с 1 м^2, а также масса плода. Как следует из данных, представленных в таблице 1, изучаемые признаки у всех генотипов перца сладкого варьировали в области

Таблица 1 – Параметры продуктивности растений перца сладкого в вариантах опыта с последействием светодиодного освещения

Вариант освещения	Высота растения, см		Хлорофилл, мг/кг		Общая урожайность, кг/м^2		Товарная урожайность, кг/м^2		Масса плода, г	
	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	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	55,7±1,3	–	3540,0±0,6	–	3,9±0,3	–	3,7±0,2	–	100,0±2,3	–
11	70,0±4,2	3,3*	3114,0±0,6	–521,7*	5,9±0,0	7,6*	5,5±0,0	7,9*	97,0±5,2	–0,5
12	44,3±0,3	–8,2*	3456,0±0,6	–102,9*	3,9±0,4	–0,1	3,7±0,3	0,0	108,7±4,9	1,6
13	61,3±4,3	1,2	2391,0±0,6	–1407,0*	4,1±0,1	0,7	3,9±0,1	0,8	132,0±10,4	3,0*
14	60,3±3,2	1,4	3627,0±0,6	106,6*	5,2±0,3	2,9*	5,0±0,3	3,1*	104,7±2,6	1,3
15	73,3±4,2	4,0*	3480,0±0,6	–73,5*	6,2±0,4	5,0*	6,0±0,2	7,0*	109,0±9,2	0,9
16	63,0±4,7	1,5	3831,0±0,6	356,4*	5,9±0,1	7,0*	5,7±0,2	6,9*	106,0±3,5	1,4
17	57,0±1,7	0,6	3405,0±0,6	–165,3*	5,0±0,6	1,7	4,5±0,4	1,7	233,3±19,3	6,8*
18	57,3±3,9	0,4	3156,0±0,6	–470,3	6,1±0,2	6,5*	5,6±0,0	8,3*	103,7±0,3	1,6
19	74,3±2,3	6,9*	2766,0±0,6	–948,0*	5,4±0,1	5,2*	5,2±0,2	5,2*	117,7±3,8	4,0*
20	71,0±6,0	2,5	3192,0±0,6	–426,2*	6,1±0,3	5,4*	5,9±0,5	4,3*	125,0±1,2	9,7*
21	60,3±4,9	0,9	4086,0±0,6	668,7	6,1±0,0	8,1*	5,8±0,0	9,1*	111,3±2,6	3,3*
Гибрид 1										
Контроль	77,0±0,6	–	3159,0±0,6	–	5,9±0,0	–	5,7±0,1	–	130,0±0,0	–
11	85,7±2,3	3,6*	3669,0±0,6	624,6*	6,2±0,1	5,2*	6,0±0,0	5,2*	113,3±0,3	–50,0*
12	74,7±0,3	–3,5*	3660,0±0,6	613,6*	7,3±0,1	12,1*	7,2±0,5	2,9*	126,0±0,3	–13,9*
13	66,0±3,2	–3,4*	2826,0±0,6	–408,0*	5,3±0,1	–10,4*	5,1±0,1	–7,3*	170,0±7,5	5,3*
14	77,7±0,3	1,0	3933,0±0,6	948,0*	4,6±0,2	–5,6*	4,4±0,3	–4,7*	105,0±1,2	–21,7*
15	76,7±0,2	–0,6	3288,0±0,6	158,0*	6,4±0,1	8,7*	6,1±0,0	5,5*	166,0±4,6	7,8*
16	85,3±0,9	7,9*	1410,0±0,6	–2142,1*	5,5±0,1	–6,9*	5,7±0,1	0,0	110,0±2,9	–6,9*
17	62,0±1,2	–11,6*	3315,0±0,6	191,1*	5,2±0,0	–20,0*	5,0±0,1	–8,6*	104,7±7,2	–3,5*
18	75,0±0,3	–3,1*	2841,0±0,6	–389,5*	4,8±0,1	–9,5*	4,7±0,2	–5,5*	167,0±12,7	2,9*
19	69,3±0,7	–8,7*	2769,0±0,6	–477,7*	5,6±0,1	–5,2*	5,2±0,1	–3,0*	163,7±0,9	38,2*

Продолжение таблицы 1

Вариант освещения	Высота растения, см		Хлорофилл, мг/кг		Общая урожайность, кг/м^2		Товарная урожайность, кг/м^2		Масса плода, г	
	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	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	64,7±2,6	–4,6*	3756,0±0,6	731,2*	5,4±0,1	–5,3*	5,2±0,1	–6,1*	122,3±0,9	–8,7*
21	81,0±0,6	4,9*	3246,0±0,6	106,6*	6,4±0,1	5,3*	6,3±0,1	4,6*	119,3±2,0	–5,3*
Гибрид 2										
Контроль	68,7±0,7	–	2874,0±0,6	–	5,2±0,0	–	5,1±0,1	–	166,0±0,6	–
11	64,3±1,3	–2,9*	2544,0±0,6	–404,2*	4,2±0,0	–21,2*	4,1±0,1	–12,2*	126,0±0,0	–69,3*
12	57,7±3,7	–3,0*	2892,0±0,6	22,0*	5,3±0,0	2,7	5,1±0,0	0,5	133,7±0,9	–30,7*
13	69,3±12,2	0,1	2493,0±0,6	–467,0*	7,4±0,5	4,3*	7,1±0,5	4,1*	164,7±0,3	–2,0
14	61,0±2,1	–3,5*	3621,0±0,6	914,9*	4,7±0,1	–4,4*	4,6±0,1	–6,1*	134,7±0,9	–29,7*
15	78,3±1,5	6,0*	3189,0±0,6	385,8*	4,6±0,2	–2,9*	4,5±0,1	–3,6*	149,0±0,6	–20,8*
16	60,3±2,7	–3,0*	2406,0±0,6	–573,2*	4,9±0,1	–5,0*	4,8±0,0	–5,2*	122,7±2,0	–20,6*
17	67,7±1,9	–0,5	2328,0±0,6	–668,7*	4,8±0,1	–3,6*	4,7±0,0	–6,5*	153,0±0,0	–22,5*
18	58,3±6,0	–1,7	3117,0±0,6	297,6*	4,6±0,1	–5,3*	4,2±0,1	–11,0*	130,0±0,0	–62,4*
19	63,0±1,0	–4,7*	2301,0±0,6	–701,8*	4,8±0,1	–3,6*	4,7±0,0	–6,5*	173,7±0,3	11,5*
20	57,0±4,0	–2,8*	2541,0±0,6	–407,8*	6,4±0,1	12,7*	6,4±0,4	2,9*	184,3±2,0	8,7*
21	63,0±1,2	–4,3*	3261,0±0,6	474,0*	5,8±0,1	6,4*	5,7±0,2	3,3*	137,3±0,9	–27,2*
Сорт Алтын										
Контроль	74,7±0,7	–	2583,0±0,6	–	4,9±0,1	–	4,6±0,0	–	171,3±0,9	–
11	79,7±0,3	6,7*	3012,0±0,6	525,4*	6,7±0,4	4,2*	6,2±0,5	2,8*	163,7±0,7	–6,9*
12	55,3±4,4	–4,3*	1887,0±0,6	–852,4*	3,0±0,5	–3,6*	2,8±0,4	–4,1**	166,0±1,2	–3,7*
13	47,7±1,3	–18,1*	2301,0±0,6	–345,0*	5,2±0,1	8,0*	4,9±0,1	0,0	139,0±0,0	–36,7*
14	56,7±3,7	–4,8*	2586,0±0,6	3,7*	5,2±0,0	4,0*	5,0±0,1	5,5*	170,3±0,3	–1,1
15	71,7±0,3	–4,0*	3645,0±0,6	1300,7*	4,6±0,0	–4,0*	4,4±0,0	–7,0*	131,0±11,0	–3,7*
16	68,3±1,7	–3,5*	2448,0±0,6	–165,3*	5,0±0,0	1,0	4,6±0,0	–1,0	184,3±1,5	7,6*
17	57,7±3,5	–4,8*	2742,0±0,6	194,7*	5,6±0,1	5,4*	5,1±0,1	5,3*	152,7±2,6	–6,8*

Окончание таблицы 1

Вариант освещения	Высота растения, см		Хлорофилл, мг/кг		Общая урожайность, кг/м^2		Товарная урожайность, кг/м^2		Масса плода, г	
	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	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
18	54,0±7,0	–2,9*	3624,0±0,6	1275,0*	3,5±0,5	–2,9*	3,2±0,3	–4,1*	135,3±1,5	–21,2*
19	58,3±4,7	–3,4*	2742,0±0,6	194,7*	3,6±0,1	–15,9*	3,3±0,0	–29,0*	170,3±0,3	–1,1
20	65,3±7,9	–1,2	3423,0±0,6	1028,8*	4,4±0,1	–4,4*	4,4±0,0	–5,7*	183,3±2,0	5,4*
21	68,0±2,3	–2,8*	3579,0±0,6	1219,8*	4,2±0,2	–3,5*	4,0±0,1	–4,0*	205,7±2,6	12,5*
Сорт Сонечны										
Контроль	25,3±0,3	–	3069,0±0,6	–	6,5±0,0	–	6,1±0,0	–	119,0±0,6	–
11	56,0±1,2	3,1*	2370,0±0,6	–856,1*	6,4±0,0	–3,5*	6,0±0,0	–2,0	149,3±5,5	5,5*
12	69,0±4,6	3,6*	2364,0±0,6	–863,4*	5,3±0,4	–3,0*	5,0±0,0	–32,0*	137,7±2,6	7,0*
13	53,7±0,3	2,8*	2115,0±0,6	–1168,0*	5,7±0,3	–3,3*	5,3±0,1	–11,5*	113,7±0,9	–5,1*
14	72,3±2,8	7,0*	2319,0±0,6	–918,6*	3,7±0,1	–18,8*	3,5±0,0	53,7*	138,0±0,0	32,9*
15	73,7±3,7	5,8*	3309,0±0,6	293,9*	7,0±0,0	9,9*	6,7±0,0	9,5*	140,0±3,5	6,0*
16	81,0±4,0	7,1*	2424,0±0,6	–790,0*	5,4±0,1	–9,4*	5,3±0,2	–4,3*	129,0±0,6	12,2*
17	82,7±1,8	16,9*	3837,0±0,6	940,6*	6,2±0,1	–3,9*	5,9±0,0	–5,0*	127,0±1,7	4,4*
18	73,7±1,3	15,5*	3807,0±0,6	903,9*	4,5±0,0	–61,0*	4,1±0,1	–20,5*	134,3±3,2	4,7*
19	73,0±2,1	9,8*	3018,0±0,6	–62,5*	5,1±0,3	–4,6*	4,9±0,3	–3,5*	132,3±3,8	3,5*
20	66,0±1,2	11,4*	2649,0±0,6	–514,4*	5,3±0,1	–18,5*	5,2±0,0	–19,1*	112,7±0,3	–9,5*
21	70,0±1,2	14,7*	2742,0±0,6	–400,5*	3,9±0,1	–21,9*	3,7±0,0	–71,0*	117,0±0,0	–3,5*

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

близких значений, причем в большинстве вариантов установлены достоверные отличия от контроля. Так, высота растения у гибрида F_1 Каштоўны изменялась в диапазоне 44,3–74,3 см, Гибрида 1 – 62,0–85,3, Гибрида 2 – 57,0–78,3, у сортов Алтын и Сонечны – 47,7–79,7 см и 25,3–82,7 см соответственно. Признак «высота растения» достоверно превосходил значения контрольного варианта у всех опытных растений сорта Линия 2, что свидетельствует о положительной реакции данного генотипа на светодиодное освещение на начальном этапе онтогенеза. Достоверно превышали контроль по высоте растения гибрида F_1 Каштоўны, полученные при 11, 15 и 19 вариантах освещения; растения Гибрида 1 – при 11, 16 и 21 вариантах; Гибрида 2 – при 15 варианте; сорта Алтын – при 11 варианте освещения. Таким образом, становится очевидным, что возможно подобрать светодиодное освещение для получения рассады, которая в дальнейшем при выращивании в теплице формирует более высокие растения. Это ценно для низкорослых генотипов, уход за которыми значительно облегчается, если растение формируется высотой более 25 см.

Анализ признака «содержание хлорофилла» показал стабильно достоверные различия значений в вариантах опыта по отношению к контролю. Установлено как превышение содержания хлорофилла в растениях, так и снижение его количества в отдельных опытных образцах. Так, у растений гибрида F_1Каштоўны анализируемый признак находился на уровне 2 391,0–4 086,0 мг/кг. Положительная разница с контролем составила от 87,0 до 546 мг/кг, что выявлено у растений, рассада которых формировалась при 14, 16 и 21 вариантах освещения. У большинства опытных растений Гибрида 1 содержание хлорофилла достоверно превышало контроль и находилось на уровне 3 246,0–3 756,0 мг/кг. Лишь при оценке последействия 13, 18, 19 и особенно 16 вариантов освещения установлено уменьшение количества хлорофилла в растениях на 318–1 749 мг/кг. Содержание хлорофилла в растениях Гибрида 2 в значительной степени зависело от качества света, применяемого для формирования рассады, о чем свидетельствует достоверность полученных значений признака, которые изменялись от 2 301,0 до 3 621,0 мг/кг. Причем последействие 14, 21 и 15 вариантов освещения позволило получить значения признака на 315,0–757,0 мг/кг выше контрольных растений. Большинство растений сорта Алтын имели содержание хлорофилла выше контрольных значений. Последействие 15, 18, 20 и 21 вариантов позволило получить превышение на 820,0–1 062,0 мг/кг. Противоположная тенденция выявлена по наличию хлорофилла в растениях у сорта Сонечны. Значительное количество опытных растений имели показатели данного признака на 51,0–954,0 мг/кг ниже контрольных, лишь последействия 15, 17, 18 вариантов освещения позволили получить превышение содержания хлорофилла. Таким образом, установлена эффективность применения света искусственных диодов для выращивания рассады, способной при дальнейшем развитии к синтезу хлорофилла на уровне или значительно выше контрольных растений.

Показатели продуктивности растений перца сладкого представлены общей и товарной урожайностью, а также ценной для количественной характеристики

сортов и гибридов массой плода. Анализ общей урожайности у гибрида F_1 Каштоўны показал достоверное превышение над контролем в 1,5–2,0 раза, что составило от 0,2 до 2,3 кг/м^2. Высокие значения признака установлены при последействии 15 варианта освещения, а также 18, 20 и 21 вариантов. В отличие от положительной реакции растений гибрида F_1 Каштоўны на последействие светодиодного освещения, выраженное в превышении значений общей урожайности у опытных растений, у Гибрида 1 в большинстве вариантов опыта отмечено снижение общей урожайности.

Лишь при последействии 12, 15 и 21 вариантов освещения растения сформировали общую урожайность на уровне 6,4–7,3 кг/м^2, что больше контрольных на 0,5–1,4 кг/м^2. Аналогичная тенденция выявлена для Гибрида 2, сортов Алтын и Сонечны. Максимальная общая урожайность у Гибрида 2 установлена только при последействии 13 и 20 вариантов освещения: 7,4 и 6,4 кг/м^2 соответственно. У сорта Алтын значительное достоверное превышение зафиксировано при последействии 11 варианта, у сорта Сонечны – при 15 варианте освещения.

Проведенный анализ влияния последействия светодиодного освещения разного спектрального состава на общую урожайность сортов и гибридов перца сладкого показал разнохарактерную генотипическую реакцию растений на изучаемые условия. Установлены варианты освещения, последействие которых способствовало повышению общей урожайности. Так, наиболее урожайными были растения, полученные при 15 варианте освещения гибрида F_1 Каштоўны и сорта Сонечны, при 12 варианте – Гибрида 1, при 13 – Гибрида 2, при 11 – сорта Алтын.

Следует признать, что для каждого изучаемого генотипа наиболее ценным было определенное светодиодное освещение. Выявить единый универсальный спектр света, позволяющий запустить программу развития растений по пути формирования высокой урожайности, оказалось сложным. Однако при стремительном развитии технологий создания и применения светодиодных осветителей становится возможным рекомендовать специфический спектр света для определенного генотипа, что позволит значительно повысить продуктивность конкретных растений. Минимизация затрат на энергоносители делает технологии выращивания сельскохозяйственных культур с применением LED освещения, даже при их видо- и сортоспецифичности, доступными и окупаемыми в короткие сроки. Аналогичная тенденция влияния последействия светодиодного освещения установлена при анализе товарной урожайности изучаемых сортов и гибридов. Наибольшее значение данного признака для гибрида F_1 Каштоўны наблюдалось при 15 варианте последействия и составило 6,0 кг/м^2, что в 1,6 раза превысило товарную урожайность контрольных растений. Более 6,0 кг/м^2 получено в результате последействия 11 варианта освещения для сорта Алтын и 15 варианта для сорта Сонечны. Наилучшее значение товарной урожайности Гибрида 1 установлено при последействии 12 варианта и составило 7,3 кг/м^2, а для Гибрида 2 при 13 варианте, последействие которого позволило получить 7,4 кг/м^2, что на 1,4 и 2,2 кг/м^2 соответственно больше контрольных растений.

Масса плода у опытных растений варьировала от 97,0 г у гибрида F_1 Каштоўны при последействии 11 варианта до 233,0 г у этого же генотипа при последействии 17 варианта. У Гибрида 1 максимальное значение данного признака было при последействии 13 варианта освещения и находилось на уровне 170,0 г, у Гибрида 2 – 20 варианта, при этом масса плода составила 184,3 г. Лучшим источником света, последействие которого позволило получить плоды до 205,7 г сорта Алтын, был 21 вариант. Для сорта Сонечны – 12 вариант, масса плода которого составила 149,3 г. Таким образом, анализ признака показывает разнохарактерную картину влияния светодиодного освещения при получении рассады на дальнейшее формирование плодов. Аналогичные выводы сделаны и по другим признакам продуктивности.

При выявлении варианта освещения, наиболее перспективного для практического использования по интегральному уровню признаков продуктивности, представляется целесообразным ориентироваться не столько на лидирующие позиции каждого из них, сколько на степень его преимуществ относительно других вариантов по совокупности анализируемых признаков. С целью выявления спектрального состава света с наиболее значительным позитивным последействием на формирование растений перца сладкого и его урожайность было проведено ранжирование вариантов опыта в порядке снижения интегрального уровня их продуктивности по совокупности пяти показателей. В рамках общего методического подхода, принятого для исследования реакции растений на последействие испытываемых вариантов опыта, были определены относительные различия с контролем характеристик продуктивности сортов и гибридов перца сладкого, а затем осуществлено повариантное суммирование значений положительных и отрицательных различий [8]. По величине выявленных различий можно судить о степени влияния экспериментального освещения. Как следует из данных таблицы 2, растения сорта Сонечны в отличие от других генотипов

Таблица 2 – Совокупный эффект от последействия светодиодного освещения различного спектрального состава у растений перца сладкого, %

Вариант освещения	Гибрид F_1 Каштоўны	Гибрид 1	Гибрид 2	Сорт Алтын	Сорт Сонечны
11	113,6	25,0	–80,8	90,4	122,5
12	–22,9	59,8	–34,9	–133,9	128,9
13	–0,5	–14,7	68,2	–59,8	51,3
14	70,9	–39,5	–23,5	–9,1	91,7
15	151,1	47,3	–8,5	3,2	234,2
16	113,6	–66,8	–66,3	–6,2	177,6
17	129,5	–58,3	–42,3	–2,3	250,7
18	97,0	–20,3	–42,3	–67,4	164,6
19	108,2	–10,3	–39,1	–70,6	156,8
20	131,1	–20,3	31,0	25,0	108,6
21	139,9	18,8	11,2	22,4	85,0

характеризовались только положительной реакцией на последействие всех испытываемых вариантов светодиодного освещения. Из этого следует, что рассаду данного сорта весьма успешно возможно выращивать при LED освещении, причем, как показали результаты анализа полученных данных, положительный совокупный эффект в большей степени зависел от превышения над контролем высоты растения.

Выявлен вариант освещения со значительным совокупным эффектом последействия, причем при высоких положительных значениях по всем показателям продуктивности. Это применение светодиодного светильника с эффективностью излучения фотонов 1,86 мкмоль/(с·Вт) (вариант 15). Растения гибрида F_1 Каштоўны при последействии большинства вариантов освещения также позитивно среагировали на их влияние, формируя более высокие растения и превосходя контроль по урожайности. Причем отмечены только положительные относительные различия с контролем по общей, товарной урожайности и по массе плода. Это свидетельствует об отзывчивости данного генотипа на LED освещение, а также о возможности на начальных этапах онтогенеза использовать свет в качестве «триггера», способного направить растение на формирование более высокой урожайности. Анализ совокупного эффекта от последействия света разного спектрального состава для Гибрида 1, Гибрида 2 и сорта Алтын показал доминирование отрицательных значений, что указывает на отсутствие значимого положительного последействия света на продуктивность этих генотипов. Установлен вариант освещения, положительное последействие которого по совокупному эффекту определено для всех изучаемых сортов и гибридов. Это светодиодные светильники с потоком фотонов в диапазоне длин волн 400–800 нм на уровне 67,9 мкмоль/с и спектральным соотношением R/B (красный/синий) 20,7 (21 вариант). При последействии этого спектра света установлены хоть и незначительные, но положительные относительные различия с контролем большинства показателей продуктивности у всех опытных растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования свидетельствуют о наличии значительных генотипических различий в реакции опытных растений перца сладкого на последействие испытываемых светодиодных осветителей. Для каждого изучаемого сорта и гибрида определен вариант освещения, последействие которого способствовало формированию более продуктивных растений. Вариант освещения с потоком фотонов в диапазоне длин волн 400–800 нм на уровне 67,9 мкмоль/с и спектральным соотношением R/B (красный/синий) 20,7 оказывал положительное влияние на признаки продуктивности, установленное по совокупному эффекту от последействия LED освещения для всех изучаемых сортов и гибридов. Следовательно, светодиодное освещение определенного спектрального состава на начальных этапах онтогенеза является индуктором формирования более продуктивных растений.

Список использованных источников

1. Боровиков, В. П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере / В. П. Боровиков. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2003. – 688 с.

2. Изучение адаптивной способности и экономической стабильности перспективных гибридов перца сладкого / М. О. Моисеева [и др.] // Вестн. БГСХА. – 2015. – № 3. – С. 115–118.

3. Исследование влияния светодиодного освещения на рост и развитие растений / А. Ю. Хомяков [и др.] // Электронные средства и системы управления. – 2015. – № 1. – С. 259–262.

4. Мишин, Л. А. Новые сорта перца и томата для Беларуси / Л. А. Мишин, Н. А. Юбко // Овощеводство: сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т овощеводства НАН Беларуси. – Минск, 2006. – Вып. 12: Основные направления науч.-технич. прогресса в овощеводстве стран СНГ и Балтии. – С. 97–101.

5. 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.

6. Нечаева, Е. Х. Перспективы использования светодиодного досвечивания / Е. Х. Нечаева, В. М. Царевская // Актуальные проблемы аграрной науки и пути их решения : сб. науч. тр. / Самарская гос. с.-х. акад. – Кинель, 2016. – С. 158–161.

7. Современные технологии в овощеводстве / А. А. Аутко [и др.] ; ред. А. А. Аутко ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т овощеводства. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 490 с.

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

9. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. Д. Мятлев [и др.]. – М. : Академия, 2009. – 314 с.

10. Тертышная, Ю. В. Влияние спектрального состава света на развитие сельскохозяйственных культур / Ю. В. Тертышная, Н. С. Левина // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2016. – № 5. – С. 24–29.

11. 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.

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

13. Эшдаун, Я. Светодиодное освещение для растениеводства / Я. Эшдаун, В. Рентюк // Полупроводниковая светотехника. – 2015. – Т. 4, № 36. – С. 26–31.

Поступила в редакцию 16 декабря 2020 г.

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

INFLUENCE OF THE EFFECT OF LED LIGHTING ON THE PRODUCTIVITY OF SWEET PEPPER PLANTS

SUMMARY

The research sindicate the presence of significant genotypic differences in the response of experimental sweet pepper plants to the aftereffect of LED illuminators. For each studied variety and hybrid, a lighting option was determined, the aftereffect of which contributed to the formation of more productive plants. The variant of illumination with a photon flux in the wavelength range of 400–800 nm at a level of 67.9 mmol/s and a spectral ratio R/B (red/blue) of 20.7 had a positive effect, determined by the cumulative effect of the aftereffect of LED lighting for all studied varieties and hybrids, for signs of productivity.

Key words: sweet pepper, yield, spectral composition of light, fruit weight, plant height.