

ВОЗДЕЙСТВИЕ СВЕТОДИОДНЫХ И НАТРИЕВЫХ ОБЛУЧАТЕЛЕЙ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ, ВЫРАЩЕННЫХ МЕТОДОМ КЛОНАЛЬНОГО МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ (*IN VITRO*)

П. М. Евлаков¹, А. А. Бычков², В. Ю. Заплетин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

²ООО «Научно-производственное предприятие "Воронежский центр светотехники».

Поступила в редакцию 06.05.2020 г.

Аннотация. Исследование было направлено на изучение роста и развития растений во время досвечивания тремя различными источниками светодиодного облучения. В контролируемых условиях изучены физиологические реакции растений земляники садовой сорта 'Мельга' и розы почвопокровной сорта 'Фейри' и получены данные о влиянии качества света на динамику ростовых процессов растений, их биологическую продуктивность при выращивании в светокультуре с досвечиванием натриевыми лампами высокого давления или светодиодными светильниками. Приведены спектральные характеристики светодиодных облучателей, обеспечивающих получение качественных, полностью сформированных растений. Выявлена специфичность в формировании надземной и подземной частей растений в зависимости от варианта освещения. Было отмечено, что независимо от вида исследуемых культур, наиболее высокие растения были получены в условиях досвечивания вариантов 1 (светильник VCSF-I-180-PW) и 2 (светильник VCSIN-I-180-NW), имеющих близкие спектральные характеристики облучателей. При этом у земляники садовой сухая масса листьев, корня и, следовательно, биологическая продуктивность растения в целом первых двух вариантов превышала в 2 и более раз по сравнению с третьим вариантом опыта и на 41% больше относительно контроля. Кроме того, было продемонстрировано, что преобладание в спектре светильников вариантов 1 и 2 красного света ($\lambda = 600 - 700$ нм) способствует более интенсивному вегетативному росту, о чем свидетельствует, существенное увеличение площади отдельных листьев и суммарной ассимиляционной поверхности растений. Важным интегральным показателем мезоструктуры листа является удельная поверхностная плотность листьев (УПП), наибольшие значения которой были выявлены в вариантах 1 и 2 независимо от культуры, наименьшие значения – в варианте 3 (светильник VCSF-V-40-DHCL с динамичным управляемый мультиспектральным модулем). Выявлено, что оптимальным способом досветки растений земляники садовой и розы почвопокровной в условиях отапливаемых теплиц «Питомнического комплекса Воронежской области» являются два разных варианта. Для земляники садовой рекомендуются преимущественно светильник VCSIN-I-180-NW, а для розы почвопокровной сорта 'Фейри' рекомендуется, прежде всего, светильник VCSF-I-180-PW, производства ООО "Научно-производственное предприятие" Воронежский центр светотехники".

Ключевые слова: Земляника садовая, роза почвопокровная, светодиодные облучатели, рост, развитие, биологическая продуктивность.

Известно, что рост и развитие растений тесно связаны с условиями окружающей среды. Для обеспечения максимальной продуктивности растений нужно знать их отношение к факторам окружающей среды. Световая энергия, тепло, вода, минеральное питание и газовый состав окружающего воздуха являются необходимыми условиями для жизнедеятельности растений, поэтому для нор-

мального роста и развития растений необходимо создать оптимальные условия внешней среды. Как правило, одним из основных факторов управления жизнедеятельностью растений в условиях светокультуры является световой фактор. До недавнего времени для выращивания растений в качестве дополнительных осветителей применялись такие источники света, как лампы накаливания, флуоресцентные, натриевые лампы высокого давления. Однако в последние годы для выращивания сель-

скохозайственных и лесных культур начала использоваться в качестве дополнительного источника освещения технология светодиодного освещения. Красные и синие длины волн светодиодного освещения обычно выбираются для увеличения эффективности процесса фотосинтеза растений [1].

Основной акцент при выборе источников света потребители делают на спектральные характеристики излучения, его интенсивность. Важным фактором при выборе светодиодного светильника является выращиваемая культура, ее требования к свету, минеральному питанию, климатическим условиям, а также цель создания – посадочный материал, микрозелень, беби-салаты, готовая продукция в виде плодов. В работах целого ряда авторов было показано регуляторное действие света на рост, развитие, фотосинтетические процессы и продуктивность как *in vivo*, так и *in vitro* [2, 3].

Низкий естественный уровень освещения в теплицах и короткий зимний день не удовлетворяют необходимой потребности растений в световой энергии. Поэтому, несмотря на оптимальную обеспеченность теплом, влагой, элементами минерального питания и углекислым газом, у растений, выращиваемых в осенне-зимний период (октябрь-февраль), наблюдается задержка перехода к генеративному развитию, при этом показатели биологической продуктивности находятся на минимальном уровне. Для получения здоровых и нормально развитых растений, а также экономически выгодного урожая в осенне-зимний период растения необходимо выращивать в условиях светокультуры теплиц [4].

В связи с необходимостью расширения площадей защищенного грунта под выращивание сельскохозяйственной продукции возрастает потребность в источниках искусственного излучения, обладающих высокой биологической эффективностью и экономичных в эксплуатации. Для выполнения этой задачи необходимо изучение возможности выращивания плодовых и овощных культур в условиях освещения фитолампами, которые имеют не только высокий КПД, но и наиболее оптимальный для растений спектральный состав. Высокая биологическая и энергетическая эффективность источников искусственного освещения в результате определяет экономический эффект светокультуры и возможность её более широкого применения в тепличных хозяйствах нашей страны [4].

Для изучения влияния спектрального состава света на процессы жизнедеятельности растений

наиболее удачным источником освещения являются светоизлучающие диоды, которые позволяют получать световые волны определённой длины волны. Современные сверхъяркие светодиоды позволяют создать плотность светового потока, достаточную для выращивания растений [5]. На сегодняшний день показана возможность и эффективность применения светодиодной досветки для выращивания тепличных растений [6]. По сравнению с другими источниками искусственного облучения светодиоды безопасны, долговечны в использовании, а также отличаются относительно низким энергопотреблением [7].

Однако, несмотря на значительный опыт выращивания растений при искусственном облучении, в настоящее время нет единого взгляда на оптимальные уровни облученности растений и спектральный состав излучения, применительно к определенным видам растений. Практически в каждом случае при разработке технологий круглогодичного производства того или иного вида сельскохозяйственной продукции, требуется создание оригинальной системы облучения, максимально отвечающей физиологическим потребностям выращиваемых растений. При этом следует учитывать влияние способа организации светового потока на другие составляющие технологий светокультуры – температурный режим выращивания, минеральное питание растений, а также газовый состав окружающей среды [8-10].

На основании вышеизложенного можно предположить, что оценка роста и развития растений в условиях теплиц при разных источниках освещения и световых режимах позволяет выявить оптимальные условия выращивания для каждой конкретной культуры. Целью исследований являлось научное обоснование использования светодиодных облучателей в обеспечении качественного роста и развития, а также высокой продуктивности растений в условиях закрытого грунта теплиц.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве объектов исследования были использованы растения розы почвопокровной *Rosa Grondcover* сорта 'Фейру', в возрасте 43 дней, страна происхождения США. Вторым экспериментальным видом являлись растения земляники *Fragaria ananassa* Duch. сорта 'Мельга', в возрасте 65 дней. Оба вида опытных растений получены в научно-исследовательской лаборатории АО «Питомнический комплекс Воронежской об-

ласти» методом клонального микроразмножения «*in vitro*».

Исследования проводили в условия отапливаемой теплицы «Питомнического комплекса Воронежской области» в период с 10 февраля по 11 марта 2020 года. Растения, полученные методом клонального микроразмножения, пересаживали в плошки объемом 500 см³ с использованием торфяного питательного субстрата на основе нейтрализованного верхового торфа марки «Пельгорское-М».

В эксперименте были использованы 3 варианта облучателей для досвечивания растений (рисунок 1):

– вариант 1 – VCSF-I-180-PW, потребляемая мощность – 180 Вт, напряжение – 220 В, светодиодный модуль – Citizen CLU04H 85/200-PW, плотность потока фотонов – 200 мкмоль/м²·с;

– вариант 2 – VCSIN-I-180-NW, потребляемая мощность – 180 Вт, напряжение – 220 В, светодиодный модуль – Citizen CECLU048-1818C4-403M2M2-F, плотность потока фотонов – 200 мкмоль/м²·с;

– вариант 3 – VCSF-V-40-DHCL, динамичный управляемый мультиспектральный модуль, потребляемая мощность – 40 Вт, Напряжение – 220 В, светодиодная плата Horticulture lamp 250*500 vv 200 led Myrilia, Flytech, плотность потока фотонов – 165 мкмоль/м²·с.

Контролем служили натриевые лампы высокого давления ДНаТ, потребляемая мощность

– 600 Вт, напряжение – 400 В, плотность потока фотонов – 200 мкмоль/м²·с.

Оценку энергоэффективности потока оптического излучения проводили с помощью спектрофотометра марки «ТКА-Спектр» (ФАР), который позволяет измерять абсолютное спектральное распределение (λ) источников освещения, а также плотность потока фотонов фотосинтеза $E_{\text{ФАР}}$ в мкмоль/м²·с.

Фотопериод – 16 часов. Температура воздуха поддерживалась на уровне 22-24°C днем и 18-19°C ночью. Уход за растениями заключался в регулярном поливе, подкормке микроудобрениями и рыхлении почвы.

В течение всего исследования проводили наблюдения, при этом морфологическое описание опытных образцов розы почвопокровной и земляники включало в себя определение линейных размеров надземной и подземной частей растений.

Для измерения площади листьев каждого генотипа использовали усовершенствованную методику измерения с использованием цифрового фотоаппарата [11]. Удельную поверхностную плотность листа (УПП), характеризующую отношение сухой массы листа к его площади, определяли путём взвешивания каждого из 10 одно-возрастных листьев отдельно [12]. Для получения абсолютно сухого веса листа, после измерения их площади, высушивались в сушильном шкафу марки «Binder» (Германия) при температуре 100°C. Полученные данные обрабатывались при помощи статистических методов с использованием программы Statistica. Для большинства показателей ошибки средних арифметических составляли 5-10%.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ходе эксперимента установлено влияние различных режимов освещения на параметры роста и развития растений. Выявлена специфичность в формировании надземной и подземной частей растений в зависимости от варианта освещения (таблица 1).

Независимо от вида исследуемых культур, наиболее высокие растения 11.8 ± 0.54 см и 11.0 ± 0.68 см были получены в условиях досвечивания вариантов 1 и 2, соответственно, имеющих близкие спектральные характеристики облучателей. Аналогичные закономерности прослеживаются по всем биометрическим показателям, представленным в таблице 1, для земляники садовой сорта 'Мельга'.

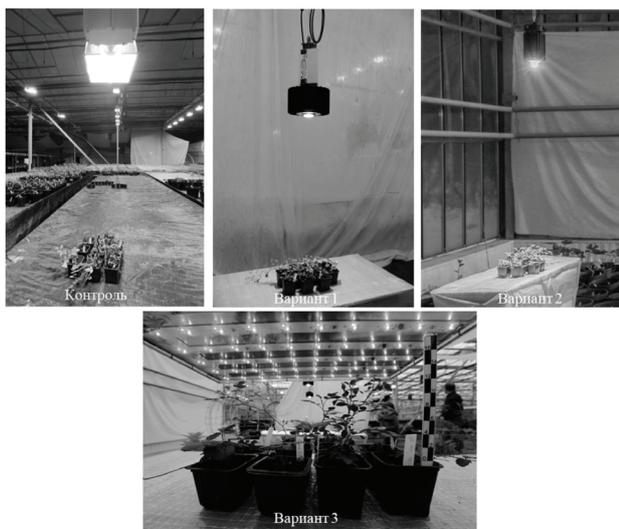


Рис. 1. Внешний вид используемых в эксперименте облучателей. Вариант 1 – VCSF-I-180-PW, вариант 2 – VCSIN-I-180-NW, вариант 3 – VCSF-V-40- DHCL, контроль – натриевые лампы высокого давления ДНаТ.

Сравнительный анализ способов освещения на растениях розы почвопокровной сорта 'Фейри' показал в первом варианте незначительное увеличение суммарной площади листового аппарата и, как результат, сырой биомассы надземной части растений (11.5 ± 0.83 см и 9.7 ± 1.2 г), по сравнению со вторым. На основании анализа полученных данных, первые два варианта могут быть объединены в один кластер с близкими характеристиками по влиянию на ростовые параметры исследуемых культур. Самые низкие значения морфометрических показателей среди всех изученных способов досвечивания наблюдали у растений земляники и розы в третьем варианте, с использованием светильника с динамичным управляемым мульти-спектральным модулем VCSF-V-40-DHCL. Контрольные растения у изучаемых культур занимали срединную позицию по большинству биометрических показателей.

Аналогичные закономерности прослеживаются по показателям сухой массы листьев и корня, а также средней площади листа (таблица 2), что подтверждала и визуальная диагностика: растения в варианте 1 и 2 были заметно крупнее, с более развитой вегетативной массой.

При этом более четкая градация морфометрических параметров прослеживается у земляники садовой сорта 'Мельга'. Так, сухая масса листьев,

корня и, следовательно, биологическая продуктивность растения в целом первых двух вариантов превышают в 2 и более раз по сравнению с третьим вариантом опыта. Промежуточные значения были получены в контроле под светильником на основе натриевой лампы высокого давления лампы ДНаТ. Таким образом, преобладание в спектре светильников вариантов 1 и 2 красного света способствует более интенсивному вегетативному росту, о чем свидетельствует, в частности, существенное увеличение площади листьев.

Известно, что в области ФАР поглощение света весьма велико и имеет два четких максимума — в синей (400-500 нм) и красной (600-700 нм) областях. Эти максимумы обусловлены, в первую очередь, содержанием в листьях хлорофиллов а и b. В среднем в синей и красной областях спектра поглощается около 80-90 % падающего излучения [13]. Спектральный состав может оказывать сильное воздействие на оптические свойства листьев, изменяя их поглощательную способность, а также на размеры и толщину листовой пластинки [14]. Кроме того, он оказывает существенное действие на структуру фотосинтетического аппарата и его функционирование, а также влияет на метаболизм в клетке, газообмен при фотосинтезе [15-18].

Важным интегральным показателем мезоструктуры листа является удельная поверхност-

Таблица 1

Биометрические показатели растений земляники садовой и розы почвопокровной в зависимости от способа досвечивания, 1 месяц после начала эксперимента

Культура	Источник облучения	Высота растений, см	Число листьев, шт.	Суммарная площадь листьев, см ²	Сырой вес надземной части, г	Сырой вес корневой системы, г
Земляника садовая	вариант 1	11.8 ± 0.54	14.6 ± 1.44	222 ± 22.8	10.1 ± 0.94	2.0 ± 0.09
	вариант 2	11.0 ± 0.68	15.2 ± 2.08	219 ± 30.1	10.1 ± 1.29	1.8 ± 0.22
	вариант 3	7.1 ± 0.56	10.2 ± 1.71	103 ± 15.65	4.7 ± 0.59	0.8 ± 0.10
	контроль	6.9 ± 0.47	11.8 ± 1.46	151 ± 24.3	6.2 ± 1.17	1.5 ± 0.18
Роза почвопокровная	вариант 1	31.8 ± 2.26	77.6 ± 10.19	387 ± 55.1	11.5 ± 0.83	1.3 ± 0.16
	вариант 2	32.5 ± 4.92	74.4 ± 13.91	326 ± 51.7	9.7 ± 1.2	1.0 ± 0.19
	вариант 3	27.7 ± 2.91	62.2 ± 15.54	280 ± 47.9	7.0 ± 0.97	0.9 ± 0.16
	контроль	29.0 ± 3.21	73.0 ± 18.2	304 ± 81.4	9.3 ± 1.72	0.9 ± 0.19

Таблица 2

Морфометрические параметры растений земляники садовой и розы почвопокровной в зависимости от способа досвечивания.

Культура	Источник облучения	Площадь листа, см ²	Сухой вес листьев, г	Сухой вес корня, г	УПП, мг/см ²	Биологическая продуктивность, г/раст.
Земляника садовая	Вариант 1	15.5 ± 1.29	1.2 ± 0.11	0.28 ± 0.01	5.6 ± 0.21	2.4 ± 0.23
	Вариант 2	14.4 ± 1.29	1.3 ± 0.15	0.29 ± 0.02	5.78 ± 0.10	2.5 ± 0.34
	Вариант 3	11.9 ± 1.46	0.60 ± 0.06	0.14 ± 0.01	5.0 ± 0.10	1.1 ± 0.13
	Контроль	12.6 ± 1.15	0.85 ± 0.12	0.17 ± 0.02	5.8 ± 0.47	1.5 ± 0.24
Роза почвопокровная	Вариант 1	5.0 ± 0.35	2.4 ± 0.34	0.40 ± 0.03	6.1 ± 0.19	4.1 ± 0.39
	Вариант 2	4.5 ± 0.13	2.3 ± 0.43	0.32 ± 0.09	6.6 ± 0.13	3.8 ± 0.61
	Вариант 3	4.9 ± 0.71	1.5 ± 0.21	0.28 ± 0.04	5.4 ± 0.31	2.4 ± 0.32
	Контроль	5.1 ± 0.41	1.9 ± 0.40	0.33 ± 0.05	5.7 ± 0.38	3.3 ± 0.66

ная плотность листьев (УПП). Это показатель отражает содержание биомассы на единицу площади листовой поверхности и косвенно может служить мерой ее толщины, чем больше величина УПП, тем эффективнее идут процессы фотосинтеза, так как в расчете на единицу поверхности листа синтезируется большая биомасса, кроме того, значение УПП листа имеет генетическую обусловленность и у различных генотипов оно различно [19, 20]. Реакция исследуемых видов растений на условия освещения достоверно различалась: наибольшие значения УПП были выявлены в вариантах 1 и 2 независимо от культуры, наименьшие значения – в варианте 3 (таблица 2).

Прирост сухого вещества за исследуемый период у всех вариантов опыта составлял 420-2000% от их исходного веса (рисунок 2). Максимальный прирост органического вещества наблюдался у земляники садовой сорта 'Мельга' в диапазоне от 830 до 2020%. При этом, за короткий промежуток вегетативного роста (1 месяц), растения земляники в вариантах 1 и 2 накопили сухого вещества два раза больше по сравнению с третьим и на 41% больше относительно контроля.

У растений розы почвопокровной сорта 'Фейри' динамика прироста сухого вещества была схожей, однако абсолютные значения значительно меньше от 420 до 800%.

Так же как и для прироста сухого вещества, различия между вариантами освещения по суммарной листовой поверхности были более весомыми в ва-

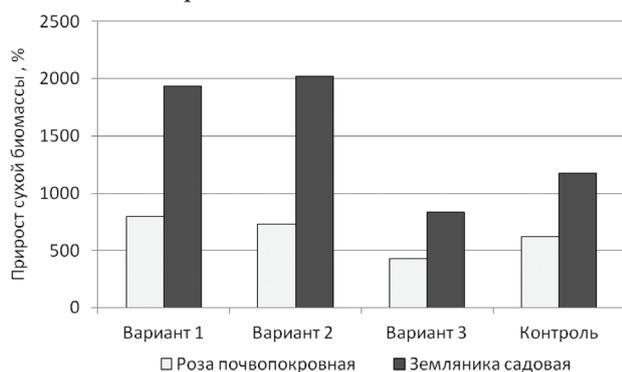


Рис. 2. Прирост сухой биомассы растений (в %) к первоначальным показателям, через 1 месяц после начала эксперимента в вариантах 1 и 2, независимо от вида растений.

Однако показатели ассимиляционной поверхности у розы почвопокровной лишь незначительно уступали таковым земляники и даже несколько превышали у контрольных растений. Вероятно, таким образом запрограммирована генетическая модель онтогенетического развития листового ап-

парата у опытных растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлена специфичность в формировании надземной и подземной частей растений в зависимости от варианта освещения. Полученные материалы позволяют считать, что оптимальным способом досветки растений земляники садовой и розы почвопокровной сорта 'Фейри' в условиях отапливаемых теплиц являются два варианта. Для земляники садовой сорта 'Мельга' рекомендуются преимущественно светильник VCSIN-I-180-NW, потребляемая мощность – 180 Вт, напряжение – 220 В, светодиодный модуль – Citizen CECLU048-1818C4-403M2M2-F (вариант 2) и вторым, по значимости, светильник VCSF-I-180-PW, потребляемая мощность – 180 Вт, напряжение – 220 В, светодиодный модуль – Citizen CLU04H 85/200-PW (вариант 1), при плотности потока фотонов – 200 мкмоль/м²·с.

Для розы же почвопокровной сорта 'Фейри' рекомендуется, прежде всего, светильник VCSF-I-180-PW, потребляемая мощность – 180 Вт, напряжение – 220 В, светодиодный модуль – Citizen CECLU048-1818C4-403M2M2-F (вариант 2), при плотности потока фотонов – 200 мкмоль/м²·с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тараканов И.Г. Фоторегуляция в адаптивных стратегиях овощных растений: дис. докт. биол. наук: 03.00.12, Москва, 2007, 152 с.
2. Дорофеев В.Ю., Медведева Ю.В., Карначук Р.А. // «Оптимизация светового режима при культивировании оздоровленных растений картофеля in vitro с целью повышения продукционного процесса», материалы VI Московского международного конгресса, часть 1 (Москва, 21-25 марта, 2011 г.). Москва: ЗАО «Экспо-биохимтехнологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011. С. 238-239.
3. Карначук Р.А. Регуляторная роль света разного спектрального состава в процессах роста и фотосинтетической активности листа растений, автореф. дисс. д-ра биол. наук: 03.00.12, Москва, 1989, 42 с.
4. Протасова Н.Н., Кефели, В.И. Фотосинтез и рост высших растений, их взаимосвязь и корреляции. Физиология фотосинтеза. Москва: Наука, 1982. 251 с.
5. Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский

Г.М. Светокультура растений: Биофизические и технологические основы. Новосибирск: Изд. СО РАН, 2000. 213 с.

6. Беркович Ю.А., Кривобок Н.М., Смолянина С.О., Ерохин А.Н. Космические оранжереи: настоящее и будущее. Москва: Слово, 2005. 367 с.

7. Samuoleiene G., Brazaityte A., Urbonaviciute A., Šabajeviene G., Duchovskis P. // *Zemdirbyste*. 2010. Vol. 97, pp. 99-104.

8. Яковцева М.Н. Морфогенетическая регуляция роста и развития земляники садовой (*Fragaria x ananassa* Duch.) в условиях светокультуры: дис. канд. биол. наук: 03.00.12, Москва, 2017. 154 с.

9. Говоров П.П., Велит І.А., Щиренко В.В., Пилипчук Р.В. Навчальний посібник для студентів спеціальності «Світлотехніка та джерела світла». Тернопіль, 2011. 79 с.

10. Леман В.М. Курс светокультуры растений. Москва: Высшая школа, 1976. 271 с.

11. Дмитриев Н.Н., Хуснидинов Ш.К. // Вестник КрасГАУ, биологические науки. 2016. № 7. С. 88 – 93.

12. Евлаков П.М., Заплетин В.Ю., Ржевский С.Г. Организация и регуляция физиолого-биохи-

мических процессов. Воронеж: Центрально-Черноземное книжное издательство, 2019. С. 64 – 78.

13. Шульгин И.А. О световом режиме в теплицах. // Гавриш. 2001. №5. С. 27 – 29.

14. Тихомиров А.А., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я. Спектральный состав света и продуктивность растений. Новосибирск: Наука, 1991. 168 с.

15. Воскресенская Н.П. Фоторегуляция метаболизма и морфогенеза растений. Москва: Наука, 1975. 36 с.

16. Белл Л.Н. Теоретические основы фотосинтетической продуктивности. Москва: Наука, 1972. 135 с.

17. Карначук Р.А., Головацкая И.Ф. // Физиология растений. 1998. Т. 45. № 6. С. 92 – 934.

18. Чайка М.Т., Савченко Г.Е. Биосинтез хлорофилла в процессе развития пластид. Минск: Наука и техника, 1981. 168 с.

19. Абдуллаев Х.А., Каримов Х.Х. Индексы фотосинтеза в селекции хлопчатника. Душанбе: Дониш, 2001. 267 с.

20. Evlakov P.M., Tsarev A.P., Tsareva R.P., Rzhnevsky S.G., Zapletin V. // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 226 012018.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Евлаков П.М., кандидат биологических наук, главный научный сотрудник

E-mail: peter.evlakov@yandex.ru

Заплетин В. Ю., кандидат биологических наук, научный сотрудник

E-mail: eniovrn@mail.ru

ООО «Научно-производственное предприятие "Воронежский центр светотехники».

Бычков А.А., руководитель фитонаправления

E-mail: a.bichkov@vcsvet.ru

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Evlakov P.M. PhD., Chief Researcher

E-mail: peter.evlakov@yandex.ru

Zapletin V.Yu., PhD., Researcher

E-mail: eniovrn@mail.ru

Scientific and Production Enterprise "Voronezh Center for Lighting techniques".

Bichkov A.A., head of phyto direction

E-mail: a.bichkov@vcsvet.ru

EFFECT OF LED AND SODIUM IRRADIATORS ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF PLANTS GROWN BY CLONAL MICROPROPAGATION (IN VITRO)

P. M. Evlakov¹, A. A. Bichkov², V. Yu. Zapletin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

²Scientific and Production Enterprise "Voronezh Center for Lighting techniques".

Abstract. The purpose of the research was the study of growth and development of plants during exposure to three different sources of LED irradiation. We studied the physiological reactions of garden

strawberry plants of the variety 'Melga' and ground cover roses of the variety 'Fairy' under controlled conditions and obtained data on the effect of lighting quality on the plant growth dynamics and biological productivity at growing in lighting culture with high-pressure sodium or LED lamps. The spectral characteristics of LED irradiators providing high-quality, fully formed plants are given. Specificity in the formation of the aboveground and underground parts of plants, depending on the lighting option has been revealed. It was noted that regardless of the plant species of the studied cultures the tallest plants were obtained under conditions of additional lighting at experience options 1 (LED lamp VCSF-I-180-PW) and 2 (LED lamp VCSIN-I-180-NW), which have similar spectral characteristics of irradiators. At the same time, plants of garden strawberry had the dry mass of leaves, root, and, consequently, the whole plant biological productivity of the first two options exceeded 2 or more times in comparison with the third option of the experiment and 41% more than control plants. In addition, it was demonstrated that the prevalence of red light in the spectrum ($\lambda = 600 - 700 \text{ nm}$) in options 1 and 2 promotes more intensive vegetative growth, as evidenced in particular, a significant increase in the individual and total leaf area. An important integral trait of the leaf mesostructure is the specific surface density of leaves (SSD), regardless of culture it's highest values were revealed in options 1 and 2, the lowest values were in option 3 (VCSF-V-40-DHCL lamp with dynamically controlled multispectral module). It has been revealed that the best way of additional lighting of the garden strawberry and ground cover rose plants in conditions of the heated greenhouse of the Nursery Complex of the Voronezh Region are two different options. The VCSIN-I-180-NW lamp is mainly recommended for garden strawberry, and the VCSF-I-180-PW lamp, produced by the Scientific-Production Enterprise Voronezh Lighting Engineering LLC, is recommended primarily for ground cover rose of variety "Fairy".

Keywords: garden strawberry, ground cover rose, LED irradiators, growth, development, biological productivity.

REFERENCES

1. Tarakanov I.G. Diss. doct. biol. nauk. Moscow, 2007, 152 p.
2. Dorofeev V.Yu., Medvedeva Yu.V., Karnachuk R.A., Proceedings of the VI Moscow International Congress, part 1, March 21-25, 2011, Moscow, 2011, pp. 238-239.
3. Karnachuk P.A. Avtoref. Diss. doct. boil. nauk, Moscow, 1989, 42 p.
4. Protasova N.N., Kefeli V.I. Fotosintez i rost vysshikh rasteniy, ikh vzaimosvyaz' i korrelyatsii. Fiziologiya fotosinteza. Moscow, Nauka, 1982, 251 p.
5. Tikhomirov A.A., Sharupich V.P., Lisovskiy G.M. Svetokul'tura rasteniy: Biofizicheskiye i tekhnologicheskkiye osnovy. Novosibirsk, Izd. SO RAN, 2000, 213 p.
6. Berkovich YU.A., Krivobok N.M., Smolyanina S.O., Yerokhin A.N. Kosmicheskiye oranzherei: nastoyashcheye i budushcheye. Moscow, Slovo, 2005, 367 p.
7. Samuoleiene G., Brazaityte A., Urbonaviciute A., Šabajeviene G., Duchovskis P., Zemdirbyste-Agricultur, 2010, Vol. 97, pp. 99-104.
8. Yakovtseva M.N. Diss. kand. biol. nauk, Moscow, 2017, 154 p.
9. Govorov P. P., Velit I. A., Schirenko V. V., Pilipchuk R. V. Navchal'nyj posibnik dlya studentiv special'nosti «Svitlotekhnika ta dzherela svitla», Ternopil', 2011, 79 p.
10. Leman V.M., Kurs svetokul'tury rastenij. Moscow, Vysshaya shkola, 1976, 271 p.
11. Dmitriev N.N., Khusnidinov Sh.K., The Bulletin of KrasGAU, 2016, No. 7, pp. 88-93.
12. Evlakov P.M., Zapletin V.Yu., Rzhhevskij S.G., Organizaciya i regulyaciya fiziologo-biohimicheskikh processov. Voronezh, 2019, pp. 64 – 78.
13. Shulgin I.A., Gavrish, 2001, No.5, pp. 27-29
14. Tihomirov A.A., Lisovskiy, G.M., Sid'ko, F.Ya. Spektral'nyj sostav sveta i produktivnost' rastenij. Novosibirsk, Nauka, 1991, 168 p.
15. Voskresenskaya N.P., Fotoregulyaciya metabolizma i morfogeneza rastenij, Moscow, Nauka, 1975, 36 p.
16. Bell L.N., Teoreticheskie osnovy fotosinteticheskoy produktivnosti. Moscow, Nauka, 1972, 135 p.
17. Karnachuk R.A., Golovackaya I.F., Plant physiology, 1998, V. 45, No. 6, pp. 92 – 934.
18. Chajka M.T., Savchenko G.E., Biosintez hlorofilla v processe razvitiya plastid. Minsk, Nauka i tekhnika, 1981, 168 p.
19. Abdullaev H.A., Karimov H.H., Indeksy fotosinteza v selekcii hlochatnika. Dushanbe, Donish, 2001, 267 p.
20. Evlakov P.M., Tsarev A.P., Tsareva R.P., Rzhhevskiy S.G., Zapletin V. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 226 012018.