

УДК 634.7: 581.143.6

**ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА РОСТ И
РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ *IN VIVO* И *IN VITRO***

Роман Валериевич Папихин

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

rom10@mail.ru

Светлана Александровна Муратова

кандидат биологических наук, профессор

smuratova@yandex.ru

Игорь Дмитриевич Мелехов

аспирант

tenderoni@yandex.ru

Максим Леонидович Дубровский

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

element68@mail.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. В статье дается обзор литературы по проведенным в нашей стране и за рубежом исследованиям, посвящённым изучению влияния спектрального состава света на рост и развитие растений, культивируемых в условиях искусственного освещения. Показаны преимущества использования светодиодных светильников и описывается их влияние на рост и морфогенез растений *in vivo* и *in vitro*.

Ключевые слова: растения, культура *in vitro*, спектральный состав света, светодиоды.

Анализ научной литературы показывает, что свет разного спектрального состава регулирует рост и развитие, а также фотосинтетические процессы и продуктивность растений, как *in vivo*, так и *in vitro* [2, 9, 14, 19]. Адаптация к световому режиму затрагивает различные уровни организации автотрофного организма, конечным результатом которой может быть оптимизация всей деятельности растений [4].

Свет является не только источником энергии, контролирующим фотосинтез. Различные участки спектра воспринимается растением как сигналы, влияющие на многие аспекты жизнедеятельности растения. Изменения в развитии растений, связанные со светом являются результатом фотоморфогенеза. Морфогенез растений и связанные с ним аспекты в основном регулируются различными фоторецепторами, которые активируются фотонами в синей, красной и дальней красной областях светового спектра.

Для роста и развития растений из всего спектра наиболее важна фотосинтетически активная, находящаяся в пределах от 380 до 710 нм, и физиологически активная радиация (300-800 нм), но наиболее значимы красные лучи, спектр которых находится в пределах от 600 до 720 нм [5, 11]. Для образования хлорофилла необходимы именно эти световые волны. Эта часть спектра является основным поставщиком энергии для фотосинтеза и влияет на процессы, связанные с изменением скорости развития растения.

Красный спектр способствует выработке хлорофилла а. Он в большей мере влияет на развитие корневой системы, вытягивание растений, созревание плодов и цветение. Вместе с тем избыток красной части спектра задерживает процессы образования генеративных органов.

Синяя часть спектра хорошо поглощается большинством основных пигментов растения. Эта часть спектра может влиять на морфологию растения: размер и форму куста/листьев, длину стебля. Ряд исследований показывает лучшую эффективность синего цвета на раннем этапе развития растения (вегетативная фаза). Синий спектр способствует открытию устьиц, активирует белковый синтез в растении, способствует выработке хлорофилла b, делению и

функционированию хлоропластов, сдерживанию роста стебля. Синий спектр влияет на увеличение зеленой массы, утолщение стеблей, закладку новых побегов.

Синие и фиолетовые (380-490 нм) лучи, как и красная составляющая, принимают непосредственное участие в фотосинтезе, стимулируют образование белков и регулируют скорость развития растения [11]. При синем свете формируются листья с большим содержанием хлорофилла. Некоторые исследователи [6] указывают на синий свет как основной компонент морфогенеза.

Система освещения для культуры *in vitro* должна обеспечивать освещение в спектральной области которая участвует в фотосинтезе и в фотоморфогенных ответах растений [18]. Использование источников света, излучающих фотоны в широком спектральном диапазоне в целом отвечает этим двум требованиям к освещению.

Среди возможных вариантов источников освещения в фитотронах широко используются люминесцентные лампы [12]. Значительная часть спектрального излучения, излучаемого GDI лампами, не используется культурами растений [15]. М. Касахара с коллегами установил [11], что избыточное световое излучение вызывает фотоингибирование и фотоокислительное повреждение растений, т. е. GDI не могут быть оптимальным выбором для освещения культур *in vitro*.

Газоразрядные лампы излучают белый свет в диапазоне излучения от 400 до 700 нм при фиксированной интенсивности [16]. Такой широкий диапазон длин волн объективно не нужен растениям и фактически обладает низким качеством для стимулирования роста растений, а сама система освещения потребляет много электрической энергии с выработкой большого количества тепла в фитотроне. Поскольку эти лампы излучают тепло, культуры не могут быть размещены близко к источнику света, поскольку они могут быть повреждены или испытывать фотостресс.

В последние годы набирают популярность светодиодные (LED) источники света. Они потребляют в 2-3 раза меньше электроэнергии по сравнению с другими источниками света, потому что обычные лампы тратят энергию на весь спектр, в том числе и ненужный растению, а специальные фитосветодиоды могут светить в достаточно узком диапазоне спектра. Комбинация светодиодов различных цветов в одном светильнике с возможностью независимого управления позволяет сформировать фактически любой спектр для конкретной культуры и фазы ее развития.

Эффективность светодиодных светильников обусловлена их монохроматичным излучением. Фитоактивная часть спектра подбирается непосредственно под культивируемое растение, что дает преимущество в отсутствии излишнего теплового и ультрафиолетового излучения, исключается риск ожогов и обезвоживания. Точность преобразования электрической энергии в фотоны определенных длин волн при желаемой плотности потока фотосинтетических фотонов (PPFD) с незначительными потерями тепла делает светодиоды более энергоэффективными, чем все другие доступные источники искусственного освещения [14].

Д. Гупта и А. Агарвал [14] считают, что успех размножения растений *in vitro* во многом зависит от спектрального качества и фотонной эффективности искусственных источников света. По их мнению, светодиоды являются идеальным источником, который может обеспечить только необходимые спектральные характеристики для стимуляции органогенных, а также эмбриогенных реакций. Светодиодные панели, у которых спектры излучения совпадают со спектрами поглощения фоторецепторов растений, могут обеспечить оптимальную продуктивность *in vitro* за счет влияния на морфогенез и метаболизм растений [17].

В последнее время в отечественной научной литературе появилось достаточно много информации об успешной стимуляции роста и развития разных видов растений в условиях *in vitro*, при использовании светодиодных ламп и установок освещения на основе светодиодов [3, 8, 10, 19].

Применение светодиодных облучательных установок с источниками света различного спектрального состава, способствовало значительному увеличению укореняемости микропобегов и улучшению качества корневой системы микрорастений.

Установлено, что совместное применение регулятора роста НВ-101 и светодиодных установок с соотношением в спектре красного, синего и белого света 2:1:1 и 1:1:1 соответственно приводило к 100%-му укоренению микропобегов земляники и сокращению этапа укоренения на 10 дней [7]. При изучении влияния светодиодного освещения с содержанием 80% красного и 20% синего света на рост растений-регенератов трех сортов *F. × ananassa* Duch. в процессе их укоренения в условиях *in vitro* отмечено увеличение частоты ризогенеза, длины корней, массы корней, высоты розеток и площади листовых пластинок под воздействием освещения светодиодными источниками света в сравнении с люминесцентным освещением [1].

Ранее Ханг с соавторами [13] показали эффективность применения светодиодных источников для земляники в условиях *in vitro* и *ex vitro* по сравнению с люминесцентным освещением. Установлено, что для индукции морфогенеза растений в условиях *in vitro* оптимальным было соотношение 90% красного и 10% синего света. Использование источников с 70% красного и 30% света положительно влияло на рост как *in vitro*, так и *ex vitro*. Применение светодиодных источников освещения повышало жизнеспособность эксплантов, значительно ускоряло их развитие, положительно влияло на ростовые параметры растений-регенератов, увеличивало содержание хлорофилла у растений.

Применение светодиодов в биотехнологии на сегодняшний день находится на этапе своего становления. Большое практическое значение имеет определение специфичности действия двух основных областей ФАР – синей и красной и оптимальное соотношение спектрального состава света на рост и развитие растений на разных этапах культивирования.

Изучение механизмов регуляции морфогенеза и физиологических функций позволит с большим успехом использовать свет различного спектра для оптимизации режимов культивирования растений в условиях *in vitro*.

Список литературы:

1. Амброс Е.В., Толузакова С.Ю., Новикова Т.И. Влияние светодиодного и люминесцентного освещений на развитие растений-регенерантов *Fragaria × ananassa* Duch. на этапе укоренения *in vitro* // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. №48(2). С. 18-24.

2. Воскресенская Н.П. Принципы фоторегулирования метаболизма растений и регуляторное действие красного и синего света // Фоторегуляция метаболизма и морфогенеза растений / под ред. Курсанова А.Л. [и др.]. 1975. С. 16-36.

3. Евлаков П. М., Бычков А. А., Заплетин В. Ю. Воздействие светодиодных и натриевых облучателей на рост и развитие растений, выращенных методом клонального микроразмножения (*in vitro*) // Вестник ВГУ, Серия: химия. биология. фармация. 2020. № 4. С. 43-49.

4. Карначук Р.А. Регуляторное влияние зеленого света на рост и фотосинтез листьев // Физиология растений. 1987. Т. 34. № 4. С. 765 – 773.

5. Карначук Р.А., Гвоздева Е.С. Влияние света на баланс фитогормонов и морфогенез в культуре ткани зародышей пшеницы // Физиология растений. 1998. Т. 45. № 2. С. 289 – 295.

6. Катаева Н.В., Аветисов В.А. Клональное размножение в культуре ткани // Культура клеток растений. 1981. С. 137-149.

7. Маркова М.Г., Сомова Е.Н. Повышение клонального микроразмножения ремонтантной малины // Вестник НГАУ. 2016. №2(39). С. 30-35.

8. Соловых Н.В., Будаговский А.В., Янковская М.Б. Влияние светодиодного и лазерного излучения на рост и размножение ягодных культур *in vitro* на примере малины черной и актинидии коломикта // Аграрная наука Северо-Востока. Киров: Северо-Восточный региональный аграрный научный

центр. 2014. №5 (42). С. 16-21.

9. Фокин А. А., Гордеев А. С. Экспериментальные исследования влияния параметров светодиодных светильников на урожайность зелёного лука при электродосвечивании // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2013. № 5. С. 59-62.

10. Чусова Н.С., Муратова С.А. Влияние условий культивирования *in vitro* на эффективность ризогенеза микрорастений картофеля // Наука и Образование. 2019. Т.2. №2. С.260.

11. Belous O.G., Malyarovskaya V.I., Kolomiec T.M. Effect of spectral composition of light on growth of *Chrysanthemum morifolium in vitro* // Naukai Studia: Przemysł. 2012. № 10(55). P. 30 – 35.

12. Economou A.S., Read P.E. Light treatments to improve efficiency of *in vitro* propagation systems // HortSci. 1987. V. 22. P.751-754.

13. Growth and morphogenesis of encapsulated strawberry shoot tips under mixed LEDs / C. D. Hung [et al.]// Scientia Horticulturae. 2015. Vol. 194. P. 194-200.

14. Gupta S. D., Agarwal A. Influence of LED Lighting on In Vitro Plant Regeneration and Associated Cellular Redox Balance // Light Emitting Diodes for Agriculture: Smart Lighting. 2017. P.273-303.

15. Gupta S. D., Jatothu B. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in *in vitro* plant growth and morphogenesis // Plant Biotechnol. Rpt. 2013. Vol. 7. P. 211–220.

16. Kozai T., Smith M.A.L. Environmental control in plant tissue culture-general introduction and overview // In: Aitken-Christie J., Kozai T., Smith M.A.L. (eds) Automation and environmental control in plant tissue culture. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.1995. P. 301–318.

17. Plant productivity in response to LED lighting / G.D. Massa, H.H. Kim, R.M. Wheeler, C.A. Mitchell // Hort Science. 2008. V. 43(7). P. 1951–1956.

18. Seabrook J.E.A. Light effects on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum*) *in vitro*: a review // Am J Pot Res. 2005. V. 82(5). P. 353–367.

19. The influence of the spectral composition on the root development of

ornamental plants *in vitro* / S.A. Muratova [at al.] // Indo american journal of pharmaceutical sciences. 2018. V.5 (7). P. 6979-6984.

UDC 634.7: 581.143.6

**EFFECT OF SPECTRAL COMPOSITION OF LIGHT OF LED LAMPS
ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF PLANTS
IN VITRO**

Roman V. Papikhin

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
parom10@mail.ru

Svetlana A. Muratova

Candidate of Biological Sciences, Professor
smuratova@yandex.ru

Igor D. Melekhov

postgraduate
tenderoni@yandex.ru

Maksim L. Dubrovsky

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
element68@mail.ru

Michurinsk State Agrarian University
Michurinsk, Russia

Annotation. The present article gives a review of the literature on studies carried out in our country and abroad, to the study of the influence of the spectral composition of light on the growth and development of plants cultivated under artificial lighting. The advantages of using LED lamps and their influence on the growth and morphogenesis of plants *in vivo* and *in vitro* has been demonstrated.

Key words: plants, spectral composition of light, in vitro culture, LEDs.