

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МИКРОКЛОНОВ МАЛИНЫ И ЕЖЕВИКИ *IN VITRO*

Е.А. КАЛАШНИКОВА¹, Л.А. ГУДЬ¹, А.А. АНИСИМОВ¹,
Р.Н. КИРАКОСЯН¹, А. ВАСИЛЕВ², И.Г. ТАРАКАНОВ¹

(¹ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ² Пловдивский аграрный университет)

В статье представлены результаты исследований по изучению действия спектрального состава света на морфофизиологические показатели микроклонов малины (сорт Оранжевое чудо) и ежевики (сорт Black satin), культивируемых в условиях in vitro. Показана высокая эффективность применения для этих целей узкополосных и широкополосных светодиодных облучателей. Установлено, что оптическое излучение в изучаемых спектральных диапазонах оказывают различное влияние на рост микропобегов, а также коэффициент размножения. При сравнительном изучении действия разных фитооблучателей наиболее интенсивный рост микропобегов малины и ежевики и увеличение коэффициента размножения наблюдали при использовании светодиодных облучателей синего спектра (СД-С) и белых светодиодов с $T_{ив} = 2500$ К. Квазимонохроматический зеленый свет (СД-З) был благоприятен для растений малины, но не ежевики. В реакции растений на световые спектральные режимы проявляются видовые и сортовые различия, что необходимо учитывать при разработке технологий их светокультуры in vitro.

Ключевые слова: ягодные культуры, малина, ежевика, клональное микроразмножение, *in vitro*, светодиоды, спектральный состав света

Введение

В последнее время на рынке появились новые сорта ягодных культур, в частности, малины и ежевики, которые обладают высокой урожайностью, хорошими вкусовыми качествами ягод, а также устойчивостью к болезням. Все это привело к появлению определенного интереса исследователей к данным культурам, в том числе – в связи с совершенствованием технологий получения посадочного материала. Ягодные культуры не всегда с высокой эффективностью можно размножать отводками, корневыми отпрысками, а также делением куста [1]. Решить данную проблему можно с использованием биотехнологического метода – клонального микроразмножения, позволяющего получать в течение года десятки тысяч оздоровленных растений от одного экспланта [2, 3]. Работы в этом направлении успешно ведутся во многих лабораториях мира, в том числе и в России [1]. Однако, приведенные в литературе регламенты клонального микроразмножения данных культур еще не в полной мере реализуют их морфогенетический потенциал *in vitro*.

Известно, что одним из важнейших регуляторных факторов морфогенеза растений, в том числе – *in vitro*, является спектральный состав света, изменение которого может отражаться на побегообразовании, корнеобразовании, интенсивности ростовых процессов, направленности метаболических процессов и др. [4]. Фотоморфогенез растений прежде всего зависит от соотношения лучей синего, красного и дальнего красного света в спектре оптического излучения. Область красного света довольно широка и разные участки ее спектра отвечают за регуляцию целого ряда физиологических механизмов фотосинтеза и фотоморфогенеза, что в свою очередь

не может не сказаться на продукционном процессе в целом [5]. В то же время добавление зеленого спектрального диапазона к создаваемому оптическому излучению часто приводит к повышению эффективности их действия на морфофизиологические процессы исследуемых объектов [6, 7].

При выращивании растений *in vitro* с использованием искусственных облучателей характер их роста зависит от трех характеристик светового режима: спектрального состава света, плотности потока фотонов и фотопериода – продолжительности светового периода в течение суточного цикла [8]. В ряде работ показано стимулирующее действие света на корнеобразование [9], хотя есть сведения противоположного характера об активизации процессов корнеобразования в темноте [10]. Пониженная активность корнеобразования на свету может быть связана с деградацией эндогенной ИУК [8]. У некоторых видов отмечена положительная реакция на увеличенную плотность потока фотонов, особенно при выращивании в фотоавтотрофно-миксотрофных условиях (пониженный уровень сахара и подкормка CO₂). Растения лимона, выращенные *in vitro* при повышенной плотности потока фотонов (200 мкмоль / м² с), имели больше листьев, высокое содержание хлорофилла и углеводов, характеризовались более высокой фотосинтетической активностью и далее выживаемостью *ex vitro*, чем растения при пониженной освещенности в 50 или 100 мкмоль / м² с [11].

Пока основным источником света при размножении растений *in vitro* все еще традиционно остаются люминесцентные лампы. Помимо высокого энергопотребления их важным недостатком является довольно широкий спектр излучения, содержащий и малополезные для растений диапазоны. В отличие от них комбинирование в фитооблучателях разных узкополосных светодиодов (СД) позволяет пластично регулировать спектр оптического излучения для тонкой регуляции фотоморфогенетических процессов [12].

Интерес к применению при микроразмножении растений СД-облучателей стремительно растет благодаря их меньшему тепловыделению, меньшей массе и размерам, монохроматическому спектру излучения, более высокой долговечности и пониженному энергопотреблению. Особое значение имеет возможность эффективного управления спектральным составом света с учетом спектра действия фоторецепторов растений для оптимизации размножения, ростовых процессов и метаболизма [4]. Известно, что свет регулирует ряд биологических процессов в растениях (фотосинтез, морфогенез, метаболизм, транспирацию и т.д.) через рецепторные системы фитохромов, криптохромов и фототропинов, взаимодействующие с фотонами определенных спектральных диапазонов ФАР. Использование СД облучателей дает инструмент для воздействия на протекающие *in vitro* процессы корнеобразования, образования побегов (длина и число), накопления хлорофиллов и каротиноидов и другие [4]. Развитие светодиодных технологий светокультуры позволяет тонко регулировать спектральный состав света, но современные исследования о влиянии этих световых режимов на морфогенез древесных видов в условиях *in vitro* весьма скудные и противоречивые.

В связи с тем, что на ягодных культурах данные исследования ранее не проводились, работы в этом направлении представляют интерес, а полученные результаты могут иметь как практическое, так и теоретическое значение. Целью настоящей работы было изучение влияния спектрального состава света на морфофизиологические показатели микроклонов растений малины и ежевики, культивируемых *in vitro*. Рабочая гипотеза работы основана на предположении о том, что при составлении дифференцированных световых режимов с помощью СД-облучателей еще в условиях *in vitro* можно стимулировать физиологические процессы в микрорастениях для формирования эффективно функционирующего фотосинтетического аппарата, благодаря чему они будут более успешно преодолевать стресс, в том числе в ходе акклимации *ex vitro*.

Методика исследования

Работу проводили на кафедре биотехнологии и в лаборатории искусственного климата кафедры физиологии растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Объектом исследования служили микропобеги растений малины, *Rubus idaeus*, сорт Оранжевое чудо, и ежевики, *Rubus vulgaris*, сорт сорт Black satin, ранее размноженных в условиях *in vitro*. В эксперименте для микроразмножения использовали питательную среду Мурасиге и Скуга [13], содержащую БАП 0,5 мг/л и Эпин 1 мг/л. Изучали действие оптического излучения разных спектральных диапазонов фотосинтетически активной радиации (ФАР) на рост и развитие микропобегов малины и ежевики.

Для этого растения *in vitro* размещали в установке для фотобиологических исследований на варианты световых режимов разного спектрального состава. В работе использовали разные типы фитооблучателей: а) серия СД-облучателей, разработанных МСК «БЛ Групп» и ВНИСИ им. С.И. Вавилова и изготовленных на КЭТЗ (на базе СД фирмы Cree, США) [14]; б) фитооблучатель с белыми СД chip-on-board фирмы Citizen, Япония; в) натриевая лампа высокого давления (НЛВД) ДНаЗ «Рефлакс».

Соответственно, в экспериментах были следующие варианты спектральных режимов: 1) красный свет – «СД-К» (максимум при $\lambda = 656$ нм); 2) синий свет – «СД-С» (максимум при $\lambda = 447$ нм); 3) натриевая лампа высокого давления (НЛВД) (максимум при $\lambda = 602$ нм); 4) «холодный» белый свет «СД-Б» (максимум при $\lambda = 653$ нм, $T_{\text{цв}} = 5000$ К); 5) «теплый» белый свет – «СД-ЧЛБ» (максимум при $\lambda = 623$ нм, $T_{\text{цв}} = 2500$ К); 6) зеленый свет «СД-З» (максимум при $\lambda = 517$ нм). Контрольные растения выращивали в условиях световой комнаты, где поддерживалось освещение белыми люминесцентными лампами («ЛЛ», OSRAM AG, Германия). Растения находились при постоянном освещении во всех вариантах в течение трёх пассажей. Плотность потока фотонов (ППФ) была выровнена по всем вариантам и составляла 140 мкмоль/м² с. Для измерения спектра излучения фитооблучателей, фотосинтетической фотонной облученности в области ФАР использовали прибор для интегрального определения плотности потока фотонов LI-250A с квантовым датчиком LI-190SA (Li-Cor, США) и спектрометр МК350S (UPRtek, Тайвань).

Морфофизиологические показатели растений учитывали в конце каждого пассажа. Определяли высоту микропобегов и коэффициент размножения. Исследования проводили в 10-ти кратной биологической и 2-х кратной аналитической повторностях. На графиках представлены средние арифметические с доверительными интервалами на 5%-ом уровне значимости.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что изучаемые условия освещения оказывают различное действие на рост и развитие микропобегов малины и ежевики *in vitro*, а также на их коэффициент размножения. Причем для изучаемых видов растений установлены свои оптимальные режимы выращивания. Основные результаты исследований приведены на рисунках 1–5.

От пассажа к пассажи мы наблюдали устойчивую тенденцию увеличения размеров развивающихся микропобегов и повышение коэффициента размножения.

У растений малины во всех трех вариантах с СД-облучателями с квазимонохроматическим излучением высота микропобегов была не меньше, чем в контроле

с ЛЛ (рис. 1). Это же относится и к двум вариантам белого света с разными цветовыми температурами. В варианте «СД-3» зафиксировано существенное превышение значений контроля у микропобегов во втором и третьем пассажах. Наиболее крупные побеги формировались на синем свете и обоих вариантах белого света. Вероятно, это связано с усилением процесса фотосинтеза, что подтверждается формированием микропобегов с ярко-выраженной зеленой окраской (рис. 2). Похожие данные по усилению ростовых процессов и большому накоплению хлорофиллов под действием оптического излучения в синей спектральной области ранее были также получены на *Euphorbia milli* [15] и *Zantedescia juncunda* [16].

У растений ежевики наиболее крупные микропобеги, превышающие по своим размерам как контроль, так и другие варианты с СД-облучателями, сформировались на синем свете и белом свете с $T_{\text{цв}} = 2500 \text{ K}$ (рис. 3).

Коэффициент размножения у растений малины в первом пассаже в опытных вариантах не отличался от контроля-ЛЛ; только значения в варианте «СД-3» существенно превышали контрольные (рис. 4). Однако во втором и третьем пассажах этот показатель у растений опытных вариантов был уже существенно ниже контроля, за исключением варианта с зеленым светом.

Интересно ответить, что у растений ежевики коэффициент размножения при инкубировании на зеленом свете (рис. 5) в отличие от малины напротив, уменьшался по сравнению с контролем. Наибольшие значения коэффициента размножения для ежевики были отмечены в вариантах с синим светом и белым светом с $T_{\text{цв}} = 2500 \text{ K}$. При этом в варианте действия белого света с $T_{\text{цв}} = 5000 \text{ K}$, напротив, были получены одни из наименьших значений коэффициента. Неравноценность действия, соответственно, теплого и холодного белого света может быть связана у этих облучателей с разной плотностью потока фотонов К, З и С света в общем потоке: для $T_{\text{цв}} = 2500 \text{ K}$ она составляла 27% К, 56% З, 17% С, а для $T_{\text{цв}} = 5000 \text{ K}$ – 56% К, 22% З, 22% С (для сравнения, в потоке ФАР НЛВД примерно 54% К, 38% З, 8% С). Таким образом, для растений ежевики в данном случае повышению величины коэффициента размножения способствовало увеличение доли З света на фоне сопоставимого по значимости снижения потока фотонов К света. Выше, ингибирующее действие монохроматического К света было отмечено у растений малины (рис. 4). Заметим, что в литературе есть упоминания о том, что выращивание растений с использованием узкополосных красных СД может сопровождаться разбалансировкой в распределении световой энергии между фотосистемами I и II, приводя тем самым к снижению скорости фотосинтеза [17]. Также, в опытах Li et al. [18] было показано, что микрорастения с пониженным содержанием хлорофилла используют его для усвоения К света более эффективно, чем растения с повышенным содержанием хлорофилла.



А Б В Г

Рис. 2. Микропобеги растений малины, выращенные *in vitro*.

Световые режимы:

А – красный свет;

Б – синий свет;

В – белый свет, $T_{\text{цв}} = 2500 \text{ K}$;

Г – контроль – люминесцентные лампы

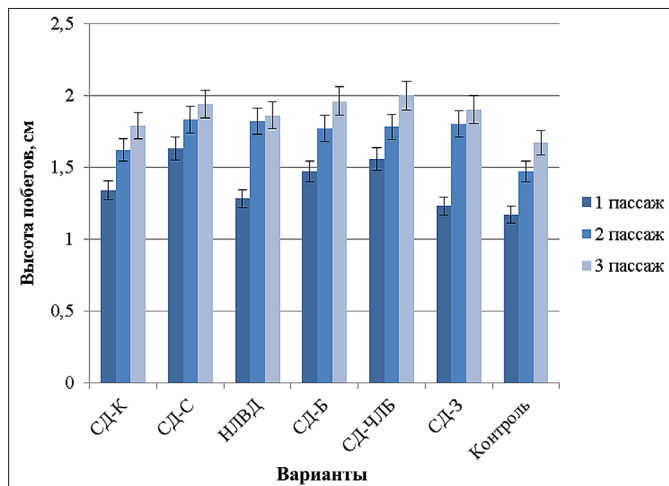


Рис. 1. Влияние спектрального состава света на высоту микропобегов растений малины сорта Оранжевое чудо при выращивании *in vitro*

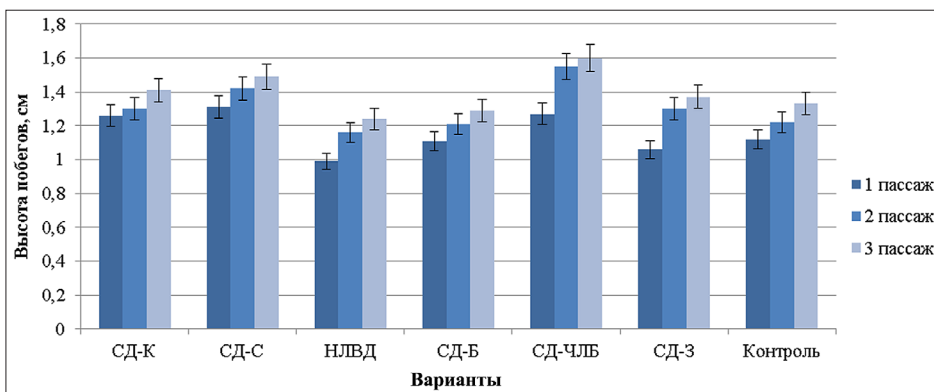


Рис. 3. Влияние спектрального состава света на высоту микропобегов растений ежевики сорта Black satin при выращивании *in vitro*

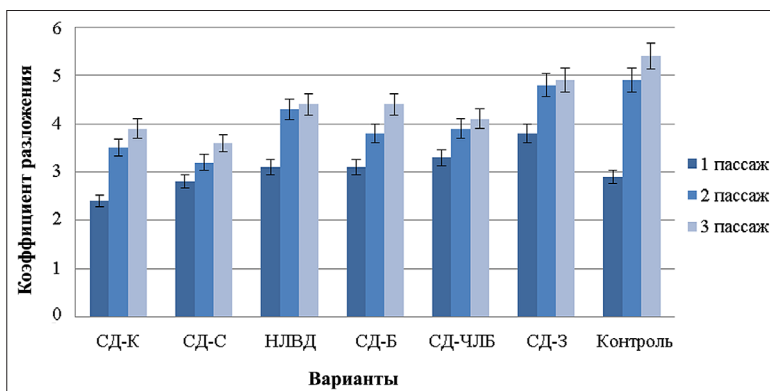


Рис. 4. Влияние спектрального состава света на коэффициент размножения растений малины сорта Оранжевое чудо при выращивании *in vitro*

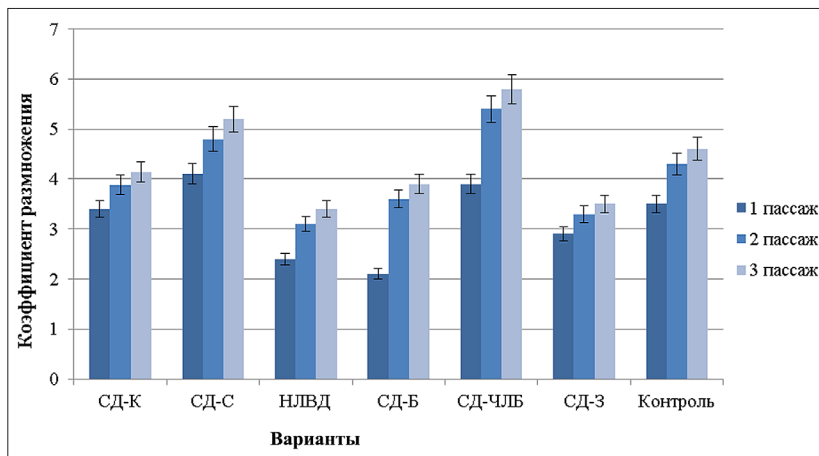


Рис. 5. Влияние спектрального состава света на коэффициент размножения растений ежевики сорта Black satin при выращивании *in vitro*

Заключение

На основании проведенных исследований нами установлены некоторые особенности ответных реакций микропобегов растений малины и ежевики, выращиваемых *in vitro*, на спектральный состав света при использовании разных фитооблучателей.

У обеих изучаемых культур отмечено усиление роста микропобегов в вариантах с использованием синего света и при облучении белыми СД с $T_{\text{цв}} = 2500$ К. Роль синего света в регуляции открывания устьиц хорошо изучена. Предполагается, что синий свет, воспринимаемый фоторопинами, активирует сигнальный каскад, ускоряющий раскрытие устьиц на фоновом красном свете [18]. Важно подчеркнуть, что в условиях *in vitro* увеличение устьичной проводимости оказывает благоприятное воздействие на фотосинтез и, что важно, не сопровождается ростом транспирации.

Не меньший интерес представляет, как показали наши исследования, изучение роли зеленого света, как в качестве квазимонохроматического излучения, так и в составе широкополосных спектров. Монохроматический зеленый свет способствовал увеличению размеров микропобегов и повышению коэффициента размножения у растений малины, однако не дал такого эффекта у растений ежевики. Это говорит о существовании видовых различий в реакции растений на данный спектральный диапазон. Заметим, что увеличение доли З света на фоне снижения доли К света в спекте излучения белых СД с $T_{\text{цв}} = 2500$ К уже дало положительный эффект и у растений ежевики.

Анализ литературных данных и наши собственные исследования показывают более высокую эффективность для культивирования растений *in vitro* световых режимов, создаваемых на основе СД-облучателей по сравнению с люминесцентными лампами. Комбинируя различные СД, можно более пластично создавать спектральные режимы, совпадающие со спектрами действия пигментов фотоморфогенеза, оказывая тем самым на него более сильное воздействие, так же, как и на содержание хлорофилла [4]. Вместе с тем, в реакции растений на световые спектральные режимы проявляются видовые и сортовые различия, что необходимо учитывать при разработке технологий светокультуры растений *in vitro*.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Национального научного фонда Болгарии в рамках научного проекта № 19–516–18008.

Библиографический список

1. Калашишникова Е.А. Клеточная инженерия растений. М.: РГАУ-МСХА. 2012. 347 с.
2. Бутенко Р.Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе. М.: ФБК-ПРЕСС. 1999. 172 с.
3. Калашишникова Е.А., Чередниченко М.Ю. Основы биотехнологии. М.: РГАУ-МСХА. 2016. 138 с.
4. Bello-Bello J.J., Pérez-Sato J.A., Cruz-Cruz C.A., Martínez-Estrada E. Light-Emitting Diodes: Progress in Plant Micropropagation / In: Chlorophyll, Chapter 6, INTECH. Eds. E. Jacoro-Lopes M.I. Queiroz, L.Q. Zepka. 2017. P. 93–103.
5. Тараканов И.Г., Яковлева О.С. Влияние качества света на физиологические особенности и продукционный процесс базилика эвгенольного (*Ocimum gratissimum* L.). // Естественные науки. 2012. № 3. С. 95–97.
6. Kim S.J., Hahn E.J., Heo J.W., Paek K.Y. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets *in vitro* // Sci. Hort. 2004. V. 101. P. 143–151.
7. Kim H.H., Goins G.D., Wheeler R.M., Sager J.C. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes // Hort. Sci. 2004. V. 39. P. 1617–1622.
8. George E.F. Plant Propagation by Tissue Culture. Part 1: The Technology. Westbury: Exegetics Ltd. 1993. 574 P.
9. Kumar A., Palni L.M.S., Nandi S.K. The effect of light source and gelling agent on micropropagation of *Rosa damascena* Mill. and *Rhynchosyilis retusa* L. // BI.J. Hort. Sci. Biotech. 2003. V. 78. P. 786–792.
10. Hammerschlag F. Factors influencing *in vitro* multiplication and rooting of the plum rootstock myrobalan (*Prunus cerasifera* Ehrh.) // J. Amer. Soc. Hort. Sci. 1982. V. 107. P. 44–47.
11. Lian M.L., Murthy H.N., Paek K.Y. Culture method and photosynthetic photon flux affect photosynthesis, growth and survival of *Limonium* ‘Misty Blue’ *in vitro* // Sci. Hort. 2002. V. 95. P. 239–249.
12. Gupta S.D., Jatothi B. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in *in vitro* plant growth and morphogenesis // Plant Biotechnology Reports. 2013. V. 7. P. 211–220.
13. Murashige T., Skoog F.A. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture // Physiol. Plant. 1962. V. 15. P. 473–497.
14. Прикупец Л.Б., Боос Г.В., Терехов В.Г., Тараканов И.Г. Исследование влияния излучения в различных диапазонах области ФАР на продуктивность и биохимический состав биомассы салатно-зеленных культур // Светотехника. 2018. № 5. С. 6–12.
15. Dewir Y.H., Chakrabarty D., Kim S.J., Hahn E.J., Paek K.Y. Effect of light-emitting diode on growth and shoot proliferation of *Euphorbia millii* and *Spathiphyllum canifolium* // Horticulture, Environment, and Biotechnology. 2005. V. 46. P. 375–379.
16. Jao R.C., Lai C.C., Fang W., Chang S.F. Effects of red light on the growth of *Zantedeschia* plantlets *in vitro* and tuber formation using light-emitting diodes // Hort. Sci. 2005. V. 40. P. 436–438.
17. Tennessen D.J., Singaas E.L., Sharkey T.D. Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research // Phot. Res. 1994. V. 39. P. 85–92.
18. Li H., Xu Z., Tang C. Effect of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plantlets *in vitro* // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2010. V. 103. P. 155–163.

LIGHT SPECTRAL COMPOSITION EFFECTS ON RASPBERRY AND BLACKBERRY MICROCLONES MORPHOPHYSIOLOGICAL TRAITS *IN VITRO*

E.A. KALASHNIKOVA¹, L.A. GUD¹, A.A. ANISIMOV¹,
R.N. KIRAKOSYAN¹, A. VASSILEV², I.G. TARAKANOV¹

(¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
² Agricultural University of Plovdiv)

The article presents the results of research on the effects of light spectral composition on the morphophysiological parameters of microclones of raspberries (variety Orange miracle) and blackberries (variety Black satin), cultivated in vitro. The high efficiency of using narrow-band and wide-band light-emitting diodes (LEDs) for these purposes is shown. It was found that optical radiation in the studied spectral ranges provided various effects on the growth of plant microshoots, as well as the reproduction coefficient. In a comparative study of the effects of different light sources, the most intense growth of raspberry and blackberry microshoots and an increase in the multiplication coefficient were observed when using LEDs of the blue spectrum and white LEDs with color temperature 2500 K. Quasimonochromatic green light was favorable for raspberry plants, but not for blackberries. In plant responses to light spectral modes, species and varietal differences appear, which must be taken into account when developing technologies for their light culture in vitro.

Key words: berry crops, raspberries, blackberries, clonal micro-propagation, in vitro, LEDs, light spectral composition

The reported study was funded by RFBR and NSFB according to the research project № 19–516–18008.

References

1. Kalashnikova E.A. Kletochnaya ingeneriya rastenii. M.: RGAU-MSKHA. 2012. 347 P.
2. Butenko R.G. Biologiya kletok vysshikh rastenii in vitro i biotekhnologii na ikh osnove. M.: FBK-PRESS. 1999. 172 P.
3. Kalashnikova E.A., Tscherednichenko M.Y. Osnovy biotekhnologii. M.: RGAU-MSKHA. 2016. 138 P.
4. Bello-Bello J.J., Pérez-Sato J.A., Cruz-Cruz C.A., Martínez-Estrada E. Light-Emitting Diodes: Progress in Plant Micropropagation / In: Chlorophyll, Chapter 6, INTECH. Eds. E. Jacopo-Lopes M.I. Queiroz, L.Q. Zepka. 2017. P. 93–103.
5. Tarakanov I.G., Yakovleva O.S. Vliyanie kachestva sveta na produktsionnyi protsess bazilika evgenol'nogo (*Ocimum gratissimum* L.) // Estestvennyye nauki. 2012. P. 95–97.
6. Kim S.J., Hahn E.J., Heo J.W., Paek K.Y. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro // Sci. Hort. 2004. V. 101. P. 143–151.
7. Kim H.H., Goins G.D., Wheeler R.M., Sager J.C. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes // Hort. Sci. 2004. V. 39. P. 1617–1622.
8. George E.F. Plant Propagation by Tissue Culture. Part 1: The Technology. Westbury: Exegetics Ltd. 1993. 574 P.

9. Kumar A., Palni L.M.S., Nandi S.K. The effect of light source and gelling agent on micropropagation of *Rosa damascena* Mill. and *Rhynchosstylis retusa* L. // *Bl.J. Hort. Sci. Biotech.* 2003. V. 78. P. 786–792.
10. Hammerschlag F. Factors influencing in vitro multiplication and rooting of the plum rootstock myrobalan (*Prunus cerasifera* Ehrh.) // *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1982. V. 107. P. 44–47.
11. Lian M.L., Murthy H.N., Paek K.Y. Culture method and photosynthetic photon flux affect photosynthesis, growth and survival of *Limonium* ‘Misty Blue’ in vitro // *Sci. Hort.* 2002. V. 95. P. 239–249.
12. Gupta S.D., Jatothu B. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis // *Plant Biotechnology Reports.* 2013. V. 7. P. 211–220.
13. Murashige T., Skoog F.A. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture // *Physiol. Plant.* 1962. V. 15. P. 473–497.
14. Prikupets L.B., Boos G.V., Terekhov V.G., Tarakanov I.G. issledovanie vliyaniya izlucheniya v razlichnykh diapazonakh oblasti FAR na produktivnost’ I biokhimiicheskii sostav biomassy salatno-zelennykh kul’tur // *Svetotekhnika.* 2018. No. 5. P. 6–12.
15. Dewir Y.H., Chakrabarty D., Kim S.J., Hahn E.J., Paek K.Y. Effect of light-emitting diode on growth and shoot proliferation of *Euphorbia millii* and *Spathiphyllum canifolium* // *Horticulture, Environment, and Biotechnology.* 2005. V. 46. P. 375–379.
16. Jao R.C., Lai C.C., Fang W., Chang S.F. Effects of red light on the growth of *Zantedeschia* plantlets in vitro and tuber formation using light-emitting diodes // *Hort. Sci.* 2005. V. 40. P. 436–438.
17. Tennessen D.J., Singaas E.L., Sharkey T.D. Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research // *Phot. Res.* 1994. V. 39. P. 85–92.
18. Li H., Xu Z., Tang C. Effect of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plantlets in vitro // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture.* 2010. V. 103. P. 155–163.

Калашникова Елена Анатольевна – заведующая кафедрой, д.б.н., профессор. Кафедра биотехнологии, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: ekalashnikova@rgau-msha.ru; тел.: (499) 9764072.

Гудь Лилия Александровна – магистрант. Кафедра физиологии растений, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: lili_gud@mail.ru; тел.: (499) 9762054.

Анисимов Александр Алексеевич – ассистент. Кафедра физиологии растений, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: anisimov@rgau-msha.ru; тел.: (499) 9762054.

Киракосян Рима Нориковна – доцент, к.б.н., доцент. Кафедра биотехнологии, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: r.kirakosyan@rgau-msha.ru; тел.: (499) 9764072.

Василев Андон – заведующий кафедрой, д.б.н., профессор. Кафедра физиологии и биохимии растений, Пловдивский аграрный университет, Болгария, 4000, Пловдив, ул. Менделеева, д. 12; e-mail: a_vasilev2001@yahoo.com.

Тараканов Иван Германович – заведующий кафедрой, д.б.н., профессор. Кафедра физиологии растений, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: plantphys@rgau-msha.ru; тел.: (499) 9762054.

Elena A. Kalashnikova – DSc (Bio), Professor, the Department of Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 976-40-72; e-mail: ekalashnikova@rgau-msha.ru.

Lilia A. Gud – MSc student, the Department of Plant Physiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 976-20-54; e-mail: lili_gud@mail.ru.

Alexander A. Anisimov – Assistant Professor, the Department of Plant Physiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 976-20-54; e-mail: anisimov@rgau-msha.ru.

Rima N. Kirakosyan – PhD (Bio), Associate Professor, the Department of Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 976-40-72; e-mail: r.kirakosyan@rgau-msha.ru.

Andon Vassilev – DSc (Bio), Professor, the Department of Plant Physiology and Biochemistry, Agricultural University of Plovdiv, 4000, Bulgaria, Plovdiv, Mendeleev Str., 12; e-mail: a_vasilev2001@yahoo.com.

Ivan G. Tarakanov – DSc (Bio), Professor, the Department of Plant Physiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 976-20-54; e-mail: plantphys@rgau-msha.ru.