

ОЦЕНКА МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕГЕНЕРАНТОВ ПОДВОЕВ И СОРТОВ СЛИВЫ ДОМАШНЕЙ НА ЭТАПЕ МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO* В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗНЫХ СПЕКТРОВ СВЕТА

Е. В. ПОУХ, Т. П. КОБРИНЕЦ, О. С. ИВАНОВА

РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси»,
ул. Урбановича, 5, г. Пружаны, Брестская область, 225133, Беларусь,
e-mail: elena.v.poukh@yandex.by

АННОТАЦИЯ

Исследования проводили в 2019–2020 гг. в лаборатории отдела плодородия РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси». Объектами исследований являлись растения-регенеранты *in vitro* районированных подвоев сливы ВПК-1, Сен Жюльен ЖФ 655/2 и сортов сливы домашней Венгерка белорусская, Венера, Эмпресс. Исследования показали, что на этапе пролиферации высокий коэффициент размножения был получен на втором пассаже при освещении спектром «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый» ($4,7 \pm 1,17$) и в «контроле» ($4,3 \pm 0,32$) у сорта Эмпресс. На четвертом пассаже культивирования при освещении спектром «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый» у сорта Эмпресс получен коэффициент размножения $5,4 \pm 0,17$.

При использовании в качестве освещения спектра «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый» средняя длина побега была наибольшей у сорта Венгерка белорусская ($4,5 \pm 0,68$ см), при «полном спектре» – у сорта Венера ($3,3 \pm 0,34$ см). При использовании в качестве освещения спектра «полный спектр» отмечается максимальное количество листьев на побеге у сорта Венгерка белорусская ($16,4 \pm 0,68$ шт.).

Ключевые слова: спектры света, растения-регенеранты, подвои, сорта, слива домашняя, микроразмножение *in vitro*, длина побега, количество листьев, коэффициент размножения, Беларусь.

ВВЕДЕНИЕ

С появлением в середине 1950-х гг. источников света, способных обеспечить выращивание растений вплоть до получения конечного урожая, началось изучение спектрального состава света. Исследования данной темы продолжаются и в наши дни.

Применение современных источников света (светодиодных ламп) позволяет сократить энергозатраты на выращивание растений за счет высокой светоотдачи, длительного рабочего ресурса и возможности регулировать спектр излучения. Светодиоды могут служить дополнительными облучателями или полностью заменять традиционные источники света при выращивании растений [1, 2]. Положительные результаты при использовании светодиодных ламп были получены на различных культурах (капуста китайская, земляника садовая, картофель, базилик) [3–5].

Солнечный свет или свет, который мы получаем при использовании ламп, не является однородным, входящие в него лучи имеют разную длину волны. Из всего спектра для жизни растений важна фотосинтетически (380–710 нм) и физиологически активная радиация (300–800 нм). Основными поставщиками энергии для фотосинтеза являются красные (600–720 нм) и оранжевые (595–620 нм) лучи. Они влияют на изменение скорости роста и развития растений. Например, их избыток задерживает переход растения к цветению. Лучи синего (380–490 нм) и фиолетового спектров непосредственно участвуют в фотосинтезе, а также стимулируют образование белков и обеспечивают скорость развития растения [6, 7].

Отмечается, что главное преимущество применения светодиодных светильников для освещения растений в теплицах – возможность подбора практически идеального для их роста спектра излучения [8]. Фитоактивная часть спектра подбирается непосредственно под культивируемое растение, исключается риск ожогов и обезвоживания [9].

Одним из наиболее важных факторов роста и развития растений при их выращивании в культуральных помещениях является достаточная освещенность лучами нужного спектра. Дополнительно было изучено воздействие светового излучения на развитие и рост растений конкретного вида [10].

Целью исследований являлась оценка морфометрических показателей регенерантов подвоев и сортов сливы домашней на этапе микроразмножения в культуре *in vitro* в зависимости от разных спектров света.

МЕТОДИКА И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В лаборатории отдела плодоводства РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси» в 2019–2020 гг. проводилась работа по изучению влияния различных спектров света на развитие растений-регенерантов подвоев и сортов сливы домашней на этапе микроразмножения в культуре *in vitro*.

Объекты исследований – растения-регенеранты *in vitro* районированных подвоев сливы ВПК-1, Сен Жюльен ЖФ 655/2 и сортов сливы домашней Венгерка белорусская, Венера, Эмпресс.

Варианты опытов – фитолампы с разной длиной волны:

лампа светодиодная LED-T8 – контроль;

светильник светодиодный ULI-P10/SPFR IP40 WHITE – полный спектр;

светильник светодиодный СПБ-T8-ФИТО (сине-красный спектр: красный (хлорофилл А) – 660 нм, синий (хлорофилл Б) – 430 нм, инфракрасный (хлорофилл Ф) – 730 нм, ультрафиолетовый (выработка смол железами в целях защиты) – 400 нм);

светильник светодиодный PPG T8i AGRO (сине-красный спектр 5:1: синий (450 нм), красный (650 нм));

фитосветильник светодиодный ДСП 01-3×6-005-УХЛ2 БИО (красный (610–650 нм), синий (450–465 нм), оранжевый).

На этапе микроразмножения (пролиферации) растений *in vitro* использовалась питательная среда Мурасиге – Скуга с добавлением биологически активных веществ: витамины В₁, В₆, РР – по 0,5 мг/л, витамин С – 1,0 мг/л, сахароза – 30 г/л, агар – 4 г/л (рН 5,6–5,7), БАП – 0,5 мг/л, ИМК – 0,1 мг/л, ГК – 0,5 мг/л. При микроразмножении использовались пробирки размером 200×21 мм с объемом питательной среды 10 мл.

Условия культивирования растений *in vitro*: освещение – 2,5–3,0 тыс. люкс, температура – +21...+23 °С, фотопериод – 16/8 ч. Длительность межпересадочного периода *in vitro* – 4 нед. [11].

Опыты проводили в четырехкратной повторности. Морфологические учеты проводили по общепринятой методике [12]. Статистическую обработку выполняли в программе Statistica 10, используя ANOVA, двухфакторный дисперсионный анализ, критерий Дункана при $p < 0,05$ для сравнения средних значений ($n = 4$). В таблицах данные приведены в виде «среднее значение ± стандартная ошибка».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Применение ламп с разными спектрами по-разному повлияло на рост побега и образование листьев у подвоев ВПК-1, Сен Жюльен ЖФ 655/2 и сортов сливы домашней Венгерка белорусская, Венера, Эмпресс на этапе пролиферации. Установлена зависимость длины побега и количества листьев от сортовых особенностей, взаимодействия освещения с сортами ($p < 0,001$), параметров светового режима ($p = 0,004$).

При оценке влияния вариантов освещения на длину побега и количество листьев на побеге отмечается преимущество варианта «полный спектр». На образование листьев влияют лампы со спектрами освещения «красный, синий, оранжевый», «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый».

Применение разных спектров света не оказало влияния на длину побега изучаемых подвоев ВПК-1 и Сен Жюльен ЖФ 655/2 (табл. 1). Не установлено преимущества изучаемых спектров света ни в сравнении с контролем, ни между собой.

На длину побега сортов сливы Венгерка белорусская, Венера и Эмпресс изучаемые спектры оказали положительное влияние.

При использовании в качестве освещения лампы со спектром «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый» средняя длина побега была наибольшей у сорта Венгерка белорусская

Таблица 1. Влияние разных спектров света на длину побега микрорастений подвоев и сортов сливы домашней на этапе пролиферации, см (среднее значение за три пассажа)

Вариант	ВПК-1	Сен Жюльен ЖФ 655/2	Венгерка белорусская	Венера	Эмпресс
Контроль	2,5±0,48defghi	1,9±0,02ghi	2,8±0,04cdefg	1,9±0,12hi	2,3±0,10fghi
Полный спектр	2,1±0,03fghi	2,8±0,22cdefgh	3,8±0,54ab	3,3±0,34bcde	2,8±0,21cdef
Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый	2,8±0,00cdefgh	2,3±0,26fghi	4,5±0,68a	2,3±0,20fghi	2,3±0,15fghi
Красный, синий	2,5±0,40efghi	2,3±0,12fghi	3,4±0,31bcd	2,8±0,06cdefgh	2,1±0,22fghi
Красный, синий, оранжевый	2,1±0,28fghi	2,3±0,02fghi	3,6±0,20bc	1,8±0,28i	2,4±0,11efghi

Примечание. Одинаковое буквенное значение в столбцах означает недостоверность различий между средними значениями при $p = 0,05$.

(4,5±0,68 см). Варианты «красный, синий», «красный, синий, оранжевый», «полный спектр» также показали хорошие результаты. Средняя длина побегов микрорастений сорта Венгерка белорусская составила 3,4±0,31, 3,6±0,20 и 3,8±0,54 см соответственно.

Лучший результат по длине побега микрорастений сливы сорта Венера был получен при освещении лампой с «полным спектром» (3,3±0,34 см). Регенеранты сливы сорта Эмпресс по длине побега статистически значимо не отличались друг от друга в зависимости от освещения разными спектрами.

Применение разных спектров света оказало влияние на формирование количества листьев микрорастений подвоя ВПК-1. Лучший результат был получен при освещении лампами со спектрами «полный спектр» (11,5±1,44 шт.) и «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый» (12,8±1,01 шт.) (табл. 2). Растения-регенеранты подвоя Сен Жюльен ЖФ 655/2 по количеству листьев значимо не отличались друг от друга в зависимости от спектров света. Не установлено преимуществ изучаемых спектров света ни в сравнении с контролем, ни между собой.

Таблица 2. Влияние разных спектров света на количество листьев регенерантов подвоев и сортов сливы домашней на этапе пролиферации, шт. (среднее значение за три пассажа)

Вариант	ВПК-1	Сен Жюльен ЖФ 655/2	Венгерка белорусская	Венера	Эмпресс
Контроль	5,5±2,02i	6,4±0,62hi	15,0±1,90ab	8,1±1,09efghi	10,7±0,33cdefg
Полный спектр	11,5±1,44bcdef	8,4±0,73efghi	16,4±0,68a	11,7±1,76bcde	9,4±1,13defgh
Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый	12,8±1,01bcd	7,7±0,93fghi	13,6±0,95abc	9,0±1,17defghi	10,2±1,31cdefgh
Красный, синий	8,4±0,78efghi	7,8±0,29efghi	12,7±1,50bcd	11,0±0,33cdefg	7,4±0,78ghi
Красный, синий, оранжевый	8,8±0,87efghi	8,1±0,62efghi	15,1±1,31ab	8,33±0,51efghi	10,4±1,74cdefg

Примечание. Одинаковое буквенное значение в столбцах означает недостоверность различий между средними значениями при $p = 0,05$.

При использовании в качестве освещения лампы с «полным спектром» у микропобегов сливы сорта Венгерка белорусская отмечается наибольшее количество листьев (16,4±0,68 шт.). В то же время хорошие результаты по количеству листьев показали микропобеги сорта Венера при использовании спектров «красный, синий, оранжевый», «контроль», «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый».

Изучаемые подвой имели низкий коэффициент размножения на втором – четвертом пассажах независимо от спектрального состава света. Максимальное значение коэффициента размножения на четвертом пассаже микропобегов подвоя Сен Жюльен ЖФ 655/2 составило 2,5±0,00 при освещении лампами со спектром «красный, синий» и 2,6±0,97 – при освещении «полный спектр» (табл. 3).

На втором пассаже коэффициент размножения регенерантов сливы сорта Эмпресс был наибольшим в варианте «контроль» (4,3±0,32) и при освещении спектром «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый» (4,7±1,17).

Коэффициент размножения на третьем пассаже регенерантов сливы сорта Венгерка белорусская был лучшим при освещении спектром «красный, синий» ($4,1 \pm 0,64$), регенерантов сливы сорта Эмпресс – при спектре «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый» ($3,7 \pm 1,15$) и в варианте «контроль» ($3,8 \pm 0,03$). На четвертом пассаже культивирования при освещении спектром «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый» коэффициент размножения сливы сорта Эмпресс составил $5,4 \pm 0,17$.

Таблица 3. Коэффициент размножения регенерантов подвоев и сортов сливы домашней на втором – четвертом пассажах

Вариант	ВПК-1	Сен Жюльен ЖФ 655/2	Венгерка белорусская	Венера	Эмпресс
Второй пассаж					
Контроль	$1,9 \pm 0,35bcd$	$1,5 \pm 0,67cd$	$1,0 \pm 0,03d$	$1,9 \pm 0,17bcd$	$4,3 \pm 0,32a$
Полный спектр	$1,3 \pm 0,12cd$	$1,1 \pm 0,07d$	$1,4 \pm 0,23cd$	$1,5 \pm 0,24cd$	$2,8 \pm 0,69b$
Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый	$1,4 \pm 0,23cd$	$1,0 \pm 0,03d$	$1,1 \pm 0,03d$	$2,3 \pm 0,18bc$	$4,7 \pm 1,17a$
Красный, синий	$1,4 \pm 0,00cd$	$1,1 \pm 0,07d$	$1,1 \pm 0,00d$	$1,1 \pm 0,00d$	$1,0 \pm 0,00d$
Красный, синий, оранжевый	$1,3 \pm 0,13cd$	$1,0 \pm 0,00d$	$1,0 \pm 0,00d$	$1,1 \pm 0,03d$	$1,0 \pm 0,00d$
Третий пассаж					
Контроль	$2,1 \pm 0,55cde$	$1,1 \pm 0,00e$	$1,3 \pm 0,00e$	$2,9 \pm 0,15bcd$	$3,8 \pm 0,03ab$
Полный спектр	$1,3 \pm 0,12e$	$1,1 \pm 0,03e$	$1,9 \pm 0,06cde$	$1,8 \pm 0,15de$	$2,7 \pm 0,73bcd$
Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый	$1,7 \pm 0,19de$	$1,4 \pm 0,03e$	$1,8 \pm 0,15de$	$1,8 \pm 0,29de$	$3,7 \pm 1,15ab$
Красный, синий	$2,0 \pm 0,33cde$	$2,1 \pm 0,21cde$	$4,1 \pm 0,64a$	$1,3 \pm 0,12e$	$2,3 \pm 0,15cde$
Красный, синий, оранжевый	$2,0 \pm 0,20cde$	$1,4 \pm 0,15e$	$3,2 \pm 0,38abc$	$2,1 \pm 0,64cde$	$1,7 \pm 0,15de$
Четвертый пассаж					
Контроль	$1,4 \pm 0,03ijk$	$2,1 \pm 0,43cdefghij$	$1,3 \pm 0,14jk$	$1,4 \pm 0,06hijk$	$4,0 \pm 0,20b$
Полный спектр	$1,3 \pm 0,28ijk$	$2,6 \pm 0,97cd$	$1,1 \pm 0,03k$	$1,3 \pm 0,00jk$	$2,3 \pm 0,17cdefg$
Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый	$1,6 \pm 0,03fghijk$	$1,4 \pm 0,28ghijk$	$1,8 \pm 0,88defghijk$	$1,7 \pm 0,20efghijk$	$5,4 \pm 0,17a$
Красный, синий	$1,9 \pm 0,20cdefghijk$	$2,5 \pm 0,00cde$	$2,4 \pm 0,20cdef$	$2,2 \pm 0,06cdefghi$	$2,7 \pm 0,12c$
Красный, синий, оранжевый	$1,9 \pm 0,06cdefghijk$	$1,8 \pm 0,23defghijk$	$1,3 \pm 0,17jk$	$2,1 \pm 0,06cdefghij$	$2,3 \pm 0,26cdefgh$

Примечание. Одинаковое буквенное значение в столбцах означает недостоверность различий между средними значениями при $p = 0,05$.

ВЫВОДЫ

Лучшие данные по морфометрическим показателям (длина побега и количество листьев на побеге) получены при освещении спектром «полный спектр» и «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый». Наибольшую длину побега и количество листьев на побеге имеет сорт Венгерка белорусская.

Установлено положительное влияние спектров «красный, синий» и «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый» на коэффициент размножения подвоев и сортов сливы домашней. Подвой Сен Жюльен ЖФ 655/2 характеризуется большим коэффициентом размножения в сравнении с подвоем ВПК-1. Среди изучаемых сортов выделяются сорта Венгерка белорусская и Эмпресс.

Наибольший коэффициент размножения у сорта Венгерка белорусская отмечен на третьем пассаже в варианте «красный, синий» (4,1). Максимальный коэффициент размножения получен у сорта Эмпресс на четвертом пассаже в варианте «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолетовый» (5,4).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фотосинтез и продуктивность растений картофеля при дополнительном облучении низкоэнергетическим светом 625 нм / Ю. Ц. Мартиросян [и др.] // Картофелеводство : сб. науч. тр. – Минск, 2007. – Т. 13. – С. 65–73.
2. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation / N. C. Yorio [et al.] // HortSci. – 2001. – Vol. 36. – P. 380–383.
3. Особенности роста и фотосинтеза растений китайской капусты при выращивании под светодиодными светильниками / О. В. Аверчева [и др.] // Физиология растений. – 2009. – Т. 56, № 1. – С. 17–26.
4. Фотосинтез и продуктивность растений картофеля в условиях различного спектрального облучения / Ю. Ц. Мартиросян [и др.] // Сельскохозяйств. биология. – 2013. – № 1. – С. 107–112.
5. Фотосинтез и продуктивность растений базилика (*Ocimum basilicum* L.) при облучении различными источниками света / М. Н. Полякова [и др.] // Сельскохозяйств. биология. – 2015. – Т. 50, № 1. – С. 124–130.
6. Morphogenesis of Potato Plant *in vitro*. I Effekt of light quality and hormones / N. P. Aksenova [et al.] // J. Plant Growth Regul. – 2014. – Vol. 13. – P. 143–146.
7. Тертышная, Ю. В. Влияние спектрального состава света на развитие сельскохозяйственных культур / Ю. В. Тертышная, Н. С. Левина // Сельскохозяйств. машины и технологии. – 2016. – № 5. – С. 24–29.
8. Прокофьев, А. Перспективы применения светодиодов в растениеводстве / А. Прокофьев, А. Туркин, А. Яковлев // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – № 5. – С. 60–63.
9. Тихомиров, А. А. Светокультура растений в теплицах / А. А. Тихомиров, В. П. Шарупич, Г. М. Лисовский // Изд-во СО РАН. – Новосибирск, 2013. – 205 с.
10. Никонович, Т. В. Влияние спектрального состава света на развитие растений картофеля в культуре *in vitro* / Т. В. Никонович, Т. В. Кардис, В. И. Цвирко // Биотехнология: достижения и перспективы развития : сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 7–8 дек. 2017 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Полес. гос. ун-т ; ред.: К. К. Шебеко [и др.]. – Пинск, 2017. – 120 с.
11. Размножение плодовых и ягодных растений в культуре *in vitro* / Н. В. Кухарчик [и др.] ; под общ. ред. Н. В. Кухарчик. – Минск : Беларус. навука, 2016. – 208 с.
12. Методические рекомендации по использованию биотехнологических методов в работе с плодовыми, ягодными и декоративными культурами / Всерос. науч.-исслед. ин-т селекции плодовых культур Рос. акад. с.-х. наук ; ред. Е. Н. Джигадло ; сост.: Е. Н. Джигадло, М. И. Джигадло, Л. В. Голышкина. – Орел, 2005. – 50 с.

THE INFLUENCE OF THE LIGHT MODE PARAMETERS ON THE DEVELOPMENT OF PLUM ROOTSTOCKS AND VARIETIES OF DOMESTIC PLUM MICROPLANTS AT THE STAGE OF MICROPROPAGATION IN *IN VITRO* CULTURE

A. V. POUKH, T. P. KOBRINETS, O. S. IVANOVA

Summary

The research was carried out in 2019–2020 in the laboratory of the fruit-growing department of RUE “Brest regional agricultural experimental station of the National Academy of Science of Belarus”. The objects of research were microplants of *in vitro* zoned rootstocks VPK-1, Saint Julien GF 655/2 and microplants of domestic plum varieties Vengerka Belorusskaya, Venera, Empress. Studies have shown that at the stage of proliferation a high propagation coefficient was achieved at the second passage of Empress variety, when illuminated by the spectrum “red, blue, infrared, ultraviolet” (4.7 ± 1.17) and in “control” (4.3 ± 0.32). On fourth passage of cultivation when illuminated by the spectrum “red, blue, infrared, ultraviolet” Empress’s variety propagation coefficient is 5.4 ± 0.17 .

When illuminated by the spectrum “red, blue, infrared, ultraviolet” the average shoot length was the longest for the Vengerka Belorusskaya variety (4.5 ± 0.68 cm), by “full spectrum” was the best variant for the Venera variety (3.3 ± 0.34 cm). When evaluating the number of leaves on the shoot, the advantage of the “full spectrum” lamp for the Vengerka Belorusskaya variety (16.4 ± 0.68 pcs) is noted.

Key words: light spectrum, microplants, rootstocks, varieties, domestic plum, micropropagation *in vitro*, shoot length, number of leaves, propagation coefficient, Belarus.

Поступила в редакцию 06.04.2021