

УДК 634.222;631.533

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РАСТЕНИЙ СЛИВЫ НА ЭТАПЕ АДАПТАЦИИ EX VITRO

О. С. Иванова, Е. В. Поух, Т. П. Кобринец

РУП «Брестская областная сельскохозяйственная опытная станция
Национальной академии наук Беларуси»

г. Пружаны, Республика Беларусь (Республика Беларусь, 225133,

г. Пружаны, ул. Урбановича, 5, e-mail: elena.v.poukh@yandex.by)

Ключевые слова: спектральный состав, лист, хлорофиллы, флавоноиды, индекс азотного баланса, адаптация ex vitro, Беларусь.

Аннотация. В статье приводятся результаты изучения влияния спектрального состава света на количество хлорофилла, флавоноидов, индекс азотного баланса в листьях районированного подвоя сливы GF 655/2 и сортов сливы домашней Венгерка белорусская, Эмпресс на этапе адаптации ex vitro. Исследования проводились в отделе плодводства РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси» в лабораторных условиях в период 2019-2020 гг.

В ходе исследований на накопление хлорофилла установлено преимущество влияния спектрального состава света «красный, синий, оранжевый» ($41,6 \pm 8,63 \text{ мг/см}^2$) и «красный, синий» ($30,3 \pm 1,89 \text{ мг/см}^2$) для сорта Венгерка белорусская. На накопление флавоноидов установлено преимущество спектрального состава «красный, синий» для подвоя GF 655/2 и сортов Венгерка белорусская и Эмпресс, спектрального состава «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» для сорта Эмпресс.

INFLUENCE OF SPECTRAL COMPOSITION OF LIGHT ON PHYSIOLOGICAL STATE OF PLUM PLANTS DURING THE STAGE OF ADAPTATION EX VITRO

O. S. Ivanova, A. V. Poukh, T. P. Kobrinets

Brest regional agricultural experimental station of the National Academy of
Science of Belarus

Pruzani, Republic of Belarus (Republic of Belarus, 225133, Pruzani,

5 Urbanovich str., e-mail: elena.v.poukh@yandex.by)

Key words: spectral composition, leaf, chlorophylls, flavonoids, nitrogen balance index, ex vitro adaptation, Belarus.

Summary. The article presents the results of studying the influence of spectral composition of light on chlorophyll amount, flavonoids, nitrogen balance index in leaves of approved plum tree rootstock GF 655/2 and domestic plum varieties Vengerka belorusskaya, Empress at the stage of ex vitro adaptation. The studies were

carried out in the fruit growing department RUE «Brest OSHOS of the National Academy of Sciences of Belarus» under laboratory conditions in the period 2019-2020.

During the studies on chlorophyll accumulation, the advantage of the influence of the spectral composition of light «red, blue, orange» ($41,6 \pm 8,63 \text{ mg/cm}^2$) and «red, blue» ($30,3 \pm 1,89 \text{ mg/cm}^2$) for the variety Vengerka belaruskaya was established. On the accumulation of flavonoids the advantage of the spectral composition «red, blue» for rootstock GF 655/2 and varieties Vengerka belaruskaya and Empress, the spectral composition «red, blue, infrared, ultraviolet» for variety Empress was established.

(Поступила в редакцию 12.05.2023 г.)

Введение. Свет является важнейшим фактором жизнедеятельности и продуктивности зеленых растений. Интенсивность света, его спектральный состав, периодичность освещения проявляются морфогенетическими изменениями в системе целого растения [8].

Из всего спектра для жизни растений наиболее значимы красные лучи, спектр которых находится в пределах от 600 до 720 нм [1, 2, 12]. Эти световые волны необходимы для образования хлорофилла. Свет этой части спектра является основным поставщиком энергии для фотосинтеза и влияет на процессы, связанные с изменением скорости развития растения [4]. Синие и фиолетовые (380-490 нм) лучи, как и красная составляющая, принимают непосредственное участие в фотосинтезе, стимулируют образование белков и регулируют скорость развития растения [12]. При синем свете формируются листья с большим содержанием хлорофилла. Данная область спектра характеризуется как основной компонент морфогенеза [3].

Такие пигменты листа растения, как хлорофиллы, каротиноиды и антоцианы, поглощают излучение в определенных спектральных диапазонах. Выявлена связь между содержаниями отдельных пигментов и другими параметрами окружающей среды, в частности, спектральным составом излучения [11].

Исследования многих авторов указывают, что на этапе адаптации важна интенсивность освещения, качественный состав света, поскольку именно свет является фактором, регулирующим процессы корнеобразования и формирования надземной части [5, 6, 9].

Цель исследований – выявить влияние различного спектрального состава света на физиологическое состояние растений сливы на этапе адаптации *ex vitro*.

Материал и методика исследований. Исследования проводились в отделе плодоводства РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси» в лабораторных условиях в период 2019-2020 гг. Объекты исследований – адаптируемые растения районированного подвоя сливы GF 655/2 и сортов сливы домашней Венгерка белорусская, Эмпресс.

В качестве экспериментальных источников освещения использовали фитолампы с различным спектральным составом света: лампа светодиодная белого цвета – контроль, 40 Вт; светильник светодиодный (полный спектр), 21,5 Вт; светильник светодиодный (сине-красный спектр: красный 660 нм, синий 430 нм, инфракрасный 730 нм, ультрафиолетовый 400 нм, 15 Вт); светильник светодиодный (сине-красный спектр 5 : 1: красный 650 нм, синий 450 нм, 14 Вт); фито-светильник светодиодный (красный 610-650 нм, синий 450-465 нм, оранжевый 610-620 нм), 18 Вт.

Условия адаптации: освещенность – 2,5-3,5 тыс. лк., температура – от 21 до +23 °С, фотопериод – 16/8 ч. Для культивирования *ex vitro* используются горшочки, объемом 1 л, грунт Двина + перлит (3 : 1) [10].

Оценку физиологического состояния адаптированных растений сливы *ex vitro* проводили в динамике. Первый учет – 21.07.2020 г., второй и последующие – через три недели после предыдущего. Количество хлорофилла, флавоноидов и NBI (индекс азотного баланса) в листьях определяли с помощью флавоноид- и хлорофилло-метра Dualex® 4 [13]:

$$NBI = \frac{\text{Сумма хлорофиллов.}}{\text{Сумма флавоноидов}} \quad (1)$$

Морфологические учеты проводили по общепринятой методике [7]. Статистическую обработку проводили, используя ANOVA, двухфакторный дисперсионный анализ, критерий Дункана при $P < 0,05$ для сравнения средних величин в программе Statistica 10.0. В таблице данные представлены в виде «среднее значение ± стандартная ошибка».

Результаты исследований и их обсуждение. В результате проведенного двухфакторного анализа на этапе адаптации *ex vitro* установлено, что лампы с различным спектральным составом света оказали достоверное влияние ($P = 0,0136$) на количество хлорофилла, флавоноидов и индекс азотного баланса адаптированных растений сливы.

Растения сливы в культуре *ex vitro* характеризовались количеством хлорофилла на первом учете в среднем от $22,9 \pm 2,49$ до $41,6 \pm 8,63$ мг/см² (таблица). Достоверно выше был результат при спектральном составе «красный, синий, оранжевый» сорта Венгерка белорусская $41,6 \pm 8,63$ мг/см². На протяжении этапа адаптации в изучаемых вариантах прослеживается тенденция к увеличению количества хлорофиллов в листьях растений сливы. На пятом учете количество хлорофилла составило в среднем от $25,7 \pm 1,39$ до $37,8 \pm 2,83$ мг/см². Преимущество значений количества хлорофиллов на пятом учете отмечается при использовании спектрального состава света «красный, синий» и «контроль» статистически значимо не отличаясь друг от друга. Значения колебались от $30,7 \pm 0,62$ до $37,8 \pm 2,83$ мг/см².

Средние показатели флавоноидов из четырех учетов составляли от 0,52 до 0,79 мг/см² и достоверно не отличались между собой. Лишь к пятому учету отметилась существенная разница между вариантами. Выделился спектральный состав «контроль» для подвоя GF 655/2 0,68 ± 0,139 мг/см².

Говоря об отношении хлорофилла к флавоноидам, выраженном индексом азотного баланса, можно отметить, что на первом учете показатель составил от 32,4 ± 1,12 до 49,0 ± 4,57 единиц. Выделяются спектральный состав «красный, синий» для сорта Венгерка белорусская 45,2 ± 2,95, «красный, синий, оранжевый» для подвоя GF 655/2 43,6 ± 1,96, сорта Венгерка белорусская 46,4 ± 3,70, «контроль» для подвоя GF 655/2 45,1 ± 2,50, сорта Венгерка белорусская 49,0 ± 4,57, сорта Эмпресс 46,3 ± 1,64. Показатели индекса азотного баланса статистически значимо не отличались друг от друга.

На протяжении этапа адаптации при различном спектральном составе света прослеживается тенденция к увеличению индекса азотного баланса в листьях растений сливы. На пятом учете NBI составил в среднем от 50,0 ± 1,30 до 62,1 ± 6,59 единиц. Достоверных отличий между вариантами не отмечается.

Заключение. Таким образом, лампы с разным спектральным составом оказывали достоверное влияние ($P = 0,0136$) на физиологическое состояние адаптированных растений сливы *ex vitro*. В ходе исследований на накопление хлорофилла установлено преимущество влияния спектрального состава света «красный, синий, оранжевый» 41,6 ± 8,63 мг/см² и «красный, синий» 30,3 ± 1,89 мг/см² для сорта Венгерка белорусская. На накопление флавоноидов установлено преимущество влияния спектрального состава «красный, синий» для подвоя GF 655/2 и сортов Венгерка белорусская и Эмпресс, спектрального состава «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» для сорта Эмпресс.

Таблица – Влияние спектрального состава света на количество хлорофилла (мг/см²), количество флавоноидов (мг/см²), индекс азотного баланса (единицы) в листьях растений сливы на этапе адаптации *ex vitro*

Вариант	GF 65S/2				Венгерка белорусская				Эмпресс					
	I учет	II учет	III учет	IV учет	V учет	VI учет	III учет	IV учет	V учет	VI учет	III учет	IV учет	V учет	VI учет
контроль	33,1± 4,00ab	31,9± 2,67	31,7± 5,09	34,7± 2,20a	37,8± 2,83a	27,0± 1,26b	31,5± 3,83	34,2± 2,54ab	35,7± 3,94ab	28,± 4,00b	31,7± 8,94	29,1± 2,85	32,0± 3,54ab	34,1± 1,68abc
красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	24,8± 0,32b	24,5± 0,87	24,9± 0,76	26,9± 0,92ab	26,3± 2,38d	23,00± 2,34b	24,9± 2,17	29,8± 3,34ab	25,7± 1,39d	27,9± 2,28b	23,1± 2,25	30,9± 3,20	31,0± 4,27ab	29,0± 1,66bcd
красный, синий	27,7± 3,21b	25,6± 3,75	23,6± 4,79	24,6± 2,71b	28,9± 3,79bcd	30,3± 1,89ab	25,9± 4,70	29,5± 1,23ab	30,7± 0,62abcd	22,9± 2,49b	23,5± 3,87	25,9± 3,92	28,1± 3,17ab	31,5± 2,72abcd
красный, синий, оранжевый	29,5± 1,94b	24,9± 0,72	24,6± 1,81	27,5± 0,55ab	29,0± 0,76bcd	41,6± 8,63a	24,9± 1,92	33,0± 2,57ab	30,0± 0,98bcd	24,9± 4,48b	24,4± 5,64	28,8± 4,02	30,7± 4,68ab	27,0± 1,58bcd
количество флавоноидов														
контроль	0,79± 0,143	0,79± 0,083	0,72± 0,083	0,63± 0,046	0,68± 0,139a	0,58± 0,102	0,65± 0,100	0,61± 0,058	0,65± 0,038ab	0,61± 0,068	0,52± 0,047	0,57± 0,029	0,58± 0,069	0,57± 0,042ab
красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	0,76± 0,012	0,68± 0,016	0,64± 0,018	0,56± 0,026	0,56± 0,048ab	0,60± 0,088	0,57± 0,097	0,66± 0,077	0,46± 0,035	0,75± 0,110	0,65± 0,161	0,68± 0,163	0,74± 0,173	0,52± 0,060ab
красный, синий	0,77± 0,097	0,71± 0,058	0,74± 0,112	0,56± 0,049	0,51± 0,023ab	0,70± 0,101	0,78± 0,119	0,57± 0,026	0,60± 0,044	0,58± 0,085	0,65± 0,039	0,60± 0,052	0,57± 0,031	0,57± 0,065ab
красный, синий, оранжевый	0,60± 0,043	0,63± 0,018	0,62± 0,052	0,55± 0,015	0,55± 0,030ab	0,57± 0,026	0,66± 0,055	0,67± 0,110	0,56± 0,056	0,60± 0,007ab	0,54± 0,105	0,54± 0,055	0,54± 0,040	0,50± 0,007ab
индекс азотного баланса														
контроль	45,1± 2,50ab	43,5± 3,00ab	44,8± 7,29ab	56,2± 3,24	62,0± 8,10	49,0± 4,57b	48,8± 9,24ab	57,0± 1,35	55,3± 2,67	46,3± 1,64ab	59,1± 11,08a	51,7± 5,56a	56,3± 3,17	62,1± 6,59
красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	32,4± 1,12d	37,0± 1,36b	39,8± 1,39ab	48,6± 1,63	50,0± 1,30	46,3± 1,28abc	48,7± 2,09ab	47,9± 3,35	56,3± 1,99	37,0± 2,65cd	37,7± 5,56b	50,1± 9,86ab	45,4± 5,78	57,0± 3,31
красный, синий	40,1± 1,63ac	38,3± 2,05b	31,6± 1,51b	43,9± 1,10	57,3± 4,78	45,2± 2,95ab	36,1± 8,27b	46,3± 4,74ab	55,1± 6,00	40,6± 8,31	35,9± 4,03b	40,6± 8,03ab	51,3± 4,53	57,2± 1,53
красный, синий, оранжевый	43,6± 1,96abc	39,1± 0,61b	42,5± 4,37ab	50,2± 0,73	59,0± 2,82	46,4± 3,70ab	39,3± 3,21b	48,1± 4,27ab	53,1± 2,76	39,6± 1,16	41,5± 1,63acd	53,8± 4,70a	57,6± 8,67	53,5± 4,09

Примечание – Одинаковое буквенное значение в столбцах означает недостаточность различий между средними значениями при $P < 0,05$

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорофеев, В. Ю. Оптимизация светового режима при культивировании оздоровленных растений картофеля *in vitro* с целью повышения продукционного процесса / В. Ю. Дорофеев, Ю. В. Медведева, Р. А. Карначук // Материалы VI Московского междунар. конгресса, часть 1 (Москва, 21-25 марта, 2011 г.). – М.: ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2011. – С. 238-239.
2. Карначук, Р. А. Влияние света на баланс фитогормонов и морфогенез в культуре ткани зародышей пшеницы / Р. А. Карначук, Е. С. Гвоздева // Физиология растений. – 1998. – Т. 45, № 2. – С. 289-295.
3. Катаева, Н. В. Клональное размножение в культуре ткани / Н. В. Катаева, В. А. Аветисов // Культура клеток растений. – М.: Наука, 1981. – С. 137-149.
4. Коломиец, Т. М. Влияние спектрального состава света на рост и развитие *Lilium caucasicum* в условиях культуры *in vitro* / Т. М. Коломиец, Р. Н. Соколов, Л. С. Самарина // Науч. журн. КубГАУ. – 2013. – № 94 (10). – 11 с.
5. Кутас, Е. Н. Адаптация регенерантов интродуцированных сортов голубики высокой и брусники обыкновенной, регенерированных в культуре *in vitro*, к условиям *ex vitro* / Е. Н. Кутас // Голубиководство в Беларуси: итоги и перспективы: материалы Респ. науч.-практ. конф. (17 авг. 2012 г., Минск, Беларусь). – Минск, 2012. – С. 29-35.
6. Маркова, М. Г. Влияние питательной среды и спектрального состава света на размножение земляники *in vitro* / М. Г. Маркова, Е. Н. Сомова // Аграр. наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – Т. 63, № 2. – С. 35-41.
7. Методические рекомендации по использованию биотехнологических методов в работе с плодовыми, ягодными и декоративными культурами / Всерос. научн.-исслед. ин-т селекции плодовых культур Рос. акад. с.-х. наук; ред. Е. Н. Джигадло; сост.: Е. Н. Джигадло, М. И. Джигадло, Л. В. Гольшкшина. – Орел, 2005. – 50 с.
8. Никиткина, Э. Г. Влияние ионов меди на микроклонирование *Lychnis chalcidonica* L. в условиях селективного света: вып. бакалавр. работа по направлению подгот.: 06.03.01 / Э. Г. Никиткина. – Томск, 2016. – 54 с.
9. Никонович, Т. В. Биотехнология в растениеводстве: курс лекций / Т. В. Никонович, А. Н. Иванистов, В. В. Французенок. – Горки: БГСХА, 2017. – 84 с.
10. Размножение плодовых и ягодных растений в культуре *in vitro* / Н. В. Кухарчик [и др.]; под общ. ред. Н. В. Кухарчик. – Минск: «Беларуская навука», 2016. – 208 с.
11. Смирнов, А. А. Зависимость биосинтеза пигментов и продуктивности томата от спектрального состава излучения / А. А. Смирнов // Инновации в сельском хозяйстве: Электронный журнал. – 2018. – № 3 (28). – С. 78-86.
12. Belous, O. G. Effect of spectral composition of light on growth of *Chryzantemum morifolium* *in vitro* / O. G. Belous, V. I. Maljarovskaja, T. M. Kolomijez // Nauka i Studia: Przemysł. – 2012. – No. 10. – P. 30-35.
13. Dualex 4 Flavonols & Chlorophyll-meter. Instruction Manual [Electronic resource] // Dynamax.com – 2011. – URL: <http://www.dynamax.com/images/uploads/papers/Dualex.pdf> (The date of the application 01.06.2018).