

**МЕТОДИКИ, РЕКОМЕНДАЦИИ, ТЕХНОЛОГИИ,
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕГЛАМЕНТЫ**

УДК 634.22:581.143.6:628.9(083.13)
<https://doi.org/10.47612/0134-9759-2022-34-178-187>

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕЖИМАМ ОСВЕЩЕНИЯ
ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СЛИВЫ ДОМАШНЕЙ НА ЭТАПАХ МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ,
УКОРЕНЕНИЯ *IN VITRO* И АДАПТАЦИИ *EX VITRO****

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

*РУП «Брестская обласная сельскохозяйственная опытная станция
Национальной академии наук Беларуси»,
ул. Урбановича, 5, г. Пружаны, Брестская область, 225133, Беларусь,
e-mail: elena.v.poukh@yandex.by*

АННОТАЦИЯ

Методические рекомендации по режимам освещения при выращивании подвоев и сортов сливы домашней на этапах микроразмножения, укоренения *in vitro* и адаптации *ex vitro* определяют использование светильников с различными спектрами света, позволяющие получать более высокие результаты микроклонального размножения: высота растений-регенерантов и количество листьев, коэффициент размножения; развитие корневой системы; рост и физиологическое состояние на этапе адаптации *ex vitro*.

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

ВВЕДЕНИЕ

С появлением источников света в середине 1950-х гг., способных обеспечить выращивание растений вплоть до получения конечного урожая, началось изучение спектрального состава света. Исследования по данной теме продолжаются и в наши дни [1].

Первые исследования за рубежом по применению светодиодов при выращивании растений начались в конце 1980-х – начале 1990-х гг. [2, 3]. Они были обусловлены необходимостью создания более эффективных источников освещения для выращивания растений в космосе и проводились в космическом центре Кеннеди (США) [4, 5]. Подобные исследования проводились в Нидерландах и Японии [6, 7]. Было показано, что растения способны расти и развиваться под новыми источниками освещения не хуже, чем при освещении люминесцентными и натриевыми лампами.

Одним из наиболее важных факторов роста и развития растений при их выращивании в лаборатории является достаточная освещенность лучами нужного спектра. Основными и самыми эффективными лучами для растений являются синие и красные с длинами волн 660 нм и 455 нм. При уровне освещения 350–400 мкмоль на 1 м² в секунду светильники на основе красных и синих светодиодов по плотности потока фотонов обеспечивают благоприятные условия освещения для выращивания многих сельскохозяйственных культур, в частности картофеля и китайской капусты [8].

*Рассмотрены и одобрены на заседании Ученого совета Брестской ОСХОС НАН Беларуси 30.11.2020 г. (протокол № 5).

У растений за поглощение света отвечают специальные пигменты. Основные из них – хлорофиллы а и б и каротиноиды. Хлорофиллы поглощают свет синего и красного диапазонов, а каротиноиды – синего диапазона. Свет, полученный разными пигментами, расходуется на разные цели.

Пигменты с пиком чувствительности в красной области спектра отвечают за развитие корневой системы, созревание плодов, цветение растений. Пигменты с пиком поглощения в синей области отвечают за увеличение зеленой массы. Зеленая часть спектра излучения полезна для фотосинтеза плотных листьев и листьев нижних ярусов, куда синие и красные лучи почти не проникают. Остальные части спектра растениями практически не используются. В результате исследований было показано, что наиболее благоприятными для выращивания светлюбивых растений являются интенсивности в пределах 150–220 Вт/м², а оптимальный состав излучения имеет следующее соотношение энергий по спектру: 30 % – в синей области (380–490 нм), 20 % – в зеленой (490–590 нм) и 50 % – в красной области (600–700 нм). С использованием такого искусственного освещения получены урожаи в несколько раз более высокие за более короткие сроки, чем при обычном освещении [9].

По данным Л. В. Баулиной, полученным в Государственном научном учреждении Всероссийского селекционно-технологического института садоводства и питомниководства Российской академии сельскохозяйственных наук, установлено, что облучение красным светом растений земляники сортов Амулет и Профьюжен на этапах микроразмножения и укоренения *in vitro* способствует увеличению числа генеративных образований в поле. Облучение синим светом растений земляники сорта Пурпуровая на этапах микроразмножения и укоренения *in vitro* сдерживает появление генеративных образований в полевых условиях [10].

Как отмечает А. В. Милехин, выращивание растений картофеля в меристемной культуре с использованием светодиодного освещения положительно воздействует на растения картофеля, принадлежащие к сортам различных групп спелости, что проявляется в достоверном увеличении параметров роста и развития растений [11].

В своих исследованиях И. Ф. Головацкая выявила эффективность влияния селективной досветки на морфогенез микроклонов картофеля *in vitro* [12]. Показана эффективность применения досветки красным светом, при действии которого наблюдались наибольший прирост сухой массы побега, увеличение «эффективной» поверхности листьев, содержания фотосинтетических пигментов и коэффициента размножения. Установлено, что данный способ обработки посадочного материала картофеля, стимулируя начальные ростовые процессы в растениях, увеличивает продуктивность фотосинтеза.

По данным Э. Г. Никиткиной, синий свет способствует незначительному уменьшению количества ярусов побега, но сильному (в пять раз) уменьшению общей длины побега микроклонов *L. chalconica* (зорька обыкновенная) относительно красного света [13]. Длина корней не зависела от спектрального состава света, однако наблюдалось увеличение количества корней микроклонов, выращенных на синем свету.

По данным Т. В. Никонович с соавторами, полученным на кафедре сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиоэкологии БГСХА, спектральный состав и тип используемого излучателя оказывают значительное влияние на функциональные характеристики фотосинтетического аппарата при размножении растений картофеля в культуре *in vitro* [14]. Определены показатели, в наибольшей мере реагирующие на спектральный состав фитоламп: площадь листовой пластинки, индекс формообразования растения-регенеранта и эффективный фотохимический квантовый выход ФСII. Относительно стабилен признак высоты растения-регенеранта.

В Полесском государственном университете уже несколько лет проводится работа в данном направлении. За это время создано несколько опытных образцов светодиодных светильников для освещения растений, размножаемых в условиях *in vitro*, в частности растений семейства *Ericaceae* (Вересковые). Опытные образцы приводят к повышению содержания фотосинтетических пигментов в 1,3–2,2 раза, более эффективно воздействуют на рост растений, что выражается в увеличении выхода регенерантов голубики высокой *in vitro* в 1,4–1,7 раза, повышают всхожесть семян рододендрона. Кроме того, опытные образцы светодиодных светильников потребляют меньше электроэнергии [15].

Анализируя различные литературные источники, было установлено, что современные светодиоды перекрывают весь видимый диапазон оптического спектра: от красного до фиолетового. Это позволяет подбирать необходимую часть спектра под культивируемое растение. Дает возможность избежать теплового и ультрафиолетового излучения, ожогов и обезвоживания. Использование светодиодных фитоламп позволит оптимизировать процесс выращивания меристемных растений за счет снижения расходов на электроэнергию и более долгого срока службы светодиодов в сравнении с люминесцентными лампами. Светодиоды могут служить дополнительными облучателями или полностью заменять традиционные источники света при выращивании растений [16–21].

МЕТОДИКА И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для работы необходимо наличие климатической и адаптационной комнаты с оборудованием, предназначенным для поддержания благоприятного микроклимата: стеллажи с освещением, кондиционеры, вентиляторы, программное реле времени.

В процессе изучения режимов освещения при выращивании подвоев и сортов сливы домашней на этапах микроразмножения, укоренения *in vitro* и адаптации *ex vitro* применялись фитолампы с различными спектрами:

лампа светодиодная LED-T8 – контроль (освещенность равна 2,5–4,5 тыс. лк);

светильник светодиодный ULI-P10/SPFR IP40 WHITE – полный спектр (освещенность равна 3,5–7,0 тыс. лк);

светильник светодиодный СПБ-T8-ФИТО (сине-красный спектр: красный (660 нм), синий (430 нм), инфракрасный (730 нм), ультрафиолетовый (400 нм); освещенность равна 2,0–3,0 тыс. лк);

светильник светодиодный PPG T8i AGRO (сине-красный спектр 5:1: красный (650 нм), синий (450 нм); освещенность равна 2,5–3,0 тыс. лк);

фитосветильник светодиодный ДСП 01-3×6-005-УХЛ2 БИО (красный (610–650 нм), синий (450–465 нм), оранжевый (610–620 нм); освещенность равна 3,0–6,0 тыс. лк).

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

Морфологические учеты проводили по общепринятой методике [22]. Количество хлорофилла, флавоноидов и NBI® (индекс азотного баланса) в листьях определяли с помощью флавонид- и хлорофиллометра Dualex® 4 [23]. Индекс азотного баланса растений (NBI) представляет собой соотношение количества хлорофиллов и флавоноидов:

$$\text{NBI} = \frac{\text{Сумма хлорофиллов}}{\text{Сумма флавоноидов}}.$$

Статистическую обработку проводили, используя ANOVA, двухфакторный дисперсионный анализ, критерий Дункана при $p < 0,05$ для сравнения средних величин в программе Statistica 10 RU (версия продукта 10.0.1011.6).

ВВЕДЕНИЕ И МИКРОРАЗМНОЖЕНИЕ СЛИВЫ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*

При микроразмножении растений *in vitro* используется питательная среда Мура-сиге и Скуга с разным содержанием фитогормонов:

на этапе введения (инициации) – БАП, 0,5 мг/л;

на этапе микроразмножения (пролиферации) – БАП, 0,5 мг/л; ИМК, 0,1 мг/л; ГК, 0,5 мг/л.

При введении эксплантов используются пробирки размером 160 × 16 мм с объемом питательной среды 5 мл, при микроразмножении – пробирки размером 200 × 21 мм с объемом питательной среды 10 мл. Для введения в культуру *in vitro* подвоев и сортов сливы используются апикальные и пазушные почки без покровных чешуй. Введение проводится в ранневесенний период (март). Техника стерилизации проводится по общепризнанной методике с использованием в качестве стерилизующего агента 33%-ной перекиси водорода [24].

Оптимальными для этапа культивирования *in vitro* эксплантов сливы являются следующие условия: 16-часовой световой день, температура +21...+23 °С.

На этапе микроразмножения на регенерацию эксплантов оказывают влияние не только сортовые особенности, но и освещение. Применение светильников со спектром «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» позволило получить наибольший коэффициент размножения сорта Эмпресс на II (4,7±1,17) и IV (5,4±0,17) пассажах (табл. 1 Приложения).

УКОРЕНЕНИЕ ПОДВОЕВ И СОРТОВ СЛИВЫ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*

Для укоренения микропобегов подвоев и сортов сливы используются пробирки размером 200 × 21 мм с объемом питательной среды 10 мл. Среда Мурасиге и Скуга с ½ содержания макроэлементов, дополненная микроэлементами – 1,0 мг/л, хелатом железа – 5,0 мг/л, витаминами В₁, В₆, РР по 0,5 мг/л, витамином С – 1,0 мг/л, сахарозой – 15 г/л, ИМК – 0,5 мг/л и ГК – 0,1 мг/л. На укоренение высаживаются микрорастения высотой не менее 1,5 см.

Для подвоев и сортов сливы отмечается сортовая специфичность на этапе укоренения в культуре *in vitro*. В зависимости от освещения укоренившихся подвоев сливы было от 45,5 до 84,4 %. Сорта сливы домашней укореняются значительно хуже. Количество укоренившихся растений составляет от 8,0 до 67,2 % (табл. 2 Приложения).

На количество корней положительно влияют светильники со спектрами «красный, синий», «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет», «красный, синий, оранжевый». Их количество у подвоя ВПК-1 составило 12,0±2,08 шт., 9,0±3,06 шт., 6,0±2,08 шт. соответственно.

Максимальная длина корней была при использовании спектров «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» у корнесобственных растений сливы Венера (48,3±1,67 мм) и подвоя ЖФ 655/2 (30,0±5,77 мм), «красный, синий, оранжевый» – у корнесобственных растений сорта Эмпресс (33,3±8,82 мм).

АДАПТАЦИЯ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ *EX VITRO*

Условия культивирования *ex vitro*: для первого этапа адаптации используются контейнеры с крышками объемом 1,5 л, для второго этапа адаптации – горшочки объемом 1 л.

Условия адаптации: температура +21...+23 °С, фотопериод 16/8 ч. При адаптации в нестерильных условиях подвоев и сортов сливы домашней используется субстрат, состоящий из смеси торфа (торфяного субстрата) и перлита в отношении 3:1, который автоклавируется в течение 150 мин при давлении 1–1,2 атм. Корни растений от остатков питательной среды отмываются в слабом растворе перманганата калия.

Необходимо содержание адаптационной комнаты в чистоте, в том числе обработка дезинфицирующими средствами и антисептиками. При появлении паутинного клеща проводится обработка растений (фризе – 0,4%-ный рабочий раствор); для ловли мошек применяется липкая лента.

Процесс адаптации растений-регенерантов после культуры *in vitro* проводится в два этапа:

1-й этап (этап адаптации). Растения из пробирок высаживаются в контейнеры с крышками объемом 1000 мл, заполненные стерильным торфяным или ионообменным субстратом и плотно закрытые для поддержания 100 %-ной влажности. Постепенно приоткрывая крышки, через 2 недели влажность уменьшают до 70–80 %. Полив до полной адаптации регенерантов необходимо производить стерильной водой. При появлении первых признаков инфицирования почвы, рекомендуется проводить обработку 0,2%-ным раствором бенлата. Начало нового роста адаптируемых регенерантов свидетельствует о завершении этого этапа адаптации. Длительность 1-го этапа – 2–4 недели.

2-й этап (этап постадаптации). Адаптированные растения пересаживаются в горшки объемом 1000 мл с торфяным субстратом. Длительность 2-го этапа адаптации – 16 недель.

Спектр «красный, синий, оранжевый» является лучшим для роста побегов подвоя ЖФ 655/2 (41,2±0,23 см) (табл. 3 Приложения). Отмечается положительное влияние спектра света «красный, синий, оранжевый» на длину побега корнесобственных растений сливы Венгерка белорусская (36,0±6,64 см) и Эмпресс (33,1±10,29 см).

Спектр света «красный, синий, оранжевый» в течение периода адаптации способствует образованию листьев у корнесобственных растений сорта Венгерка белорусская ($37,0 \pm 3,46$ шт.) (табл. 4 Приложения).

При применении спектра «красный, синий, оранжевый» для корнесобственных растений сорта Венгерка белорусская ($41,6 \pm 8,63$ мг/см²) в листьях растений образовывалось большее количество хлорофилла. Контрольный вариант у подвоя ЖФ 655/2 ($0,68 \pm 0,139$ мг/см²) на пятом учете значимо выделяется по количеству флавоноидов. Индекс азотного баланса был выше при применении светильников со спектром «красный, синий, оранжевый» ($53,8 \pm 4,70$) и в контрольном варианте ($59,1 \pm 11,08$) у корнесобственных растений сорта Эмпресс (табл. 5 Приложения).

Из климатической комнаты растения высаживаются в теплицу или открытый грунт. Полив производился водопроводной водой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные методические рекомендации по режимам освещения при микроклональном размножении подвоев и сортов сливы домашней позволяют подобрать светильники с различными спектрами света на этапах микроразмножения, укоренения *in vitro* и адаптации *ex vitro*.

На этапе микроразмножения лучшими спектрами освещения для подвоя ВПК-1, позволяющими получить больший коэффициент размножения, являются «красный, синий» ($1,9 \pm 0,20$) и «красный, синий, оранжевый» ($1,9 \pm 0,06$), для подвоя ЖФ 655/2 – «полный спектр» ($2,6 \pm 0,97$) и «красный, синий» ($2,5 \pm 0,00$) (пассаж IV). Для сливы Венгерка белорусская лучшими спектрами освещения являются «красный, синий» ($4,1 \pm 0,64$), «красный, синий, оранжевый» ($3,2 \pm 0,38$) (пассаж III). Для сорта Венера – «красный, синий» ($2,2 \pm 0,06$), «красный, синий, оранжевый» ($2,1 \pm 0,06$) (пассаж IV). Для сорта Эмпресс – «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» ($5,4 \pm 0,17$) (пассаж IV).

На этапе укоренения лучшими спектрами освещения для подвоя ВПК-1, позволяющими получить большее количество укоренившихся растений и большее количество корней, являются «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» ($58,4$ %; $9,0 \pm 3,06$), «красный, синий» ($60,5$ %; $12,0 \pm 2,08$); большую длину корней – «красный, синий, оранжевый» ($20,0 \pm 5,77$). Для подвоя ЖФ 655/2 лучшим спектром освещения, позволяющим получить большее количество укоренившихся растений, является «красный, синий» ($84,4$ %); большую длину корней – «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» ($30,0 \pm 5,77$). Для сливы Венгерка белорусская лучшими спектрами освещения с большим количеством укоренившихся растений являются «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» ($37,4$ %), «красный, синий, оранжевый» ($36,4$ %). Для сорта Венера – «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» ($67,2$ %), «полный спектр» ($50,5$ %), с большей длиной корней – «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» ($48,3 \pm 1,67$). Для сорта Эмпресс – «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» ($36,9$ %), «полный спектр» ($30,8$ %), с большей длиной корней – «красный, синий, оранжевый» ($33,3 \pm 8,82$), «красный, синий» ($24,1 \pm 5,51$).

На этапе адаптации лучшим спектром освещения является «красный, синий, оранжевый», который позволяет получить большую длину побега у подвоя ЖФ 655/2 ($41,2 \pm 0,23$), у сливы Венгерка белорусская ($36,0 \pm 6,64$), Эмпресс ($33,1 \pm 10,29$); большее количество листьев у сливы Венгерка белорусская ($37,0 \pm 3,46$), Эмпресс ($27,3 \pm 3,53$); большее количество хлорофилла в листьях сливы Венгерка белорусская ($41,6 \pm 8,63$).

Таким образом, в результате изучения фитоламп с различными спектрами при выращивании подвоев и сортов сливы домашней на этапах микроразмножения, укоренения *in vitro* и адаптации *ex vitro* можно рекомендовать для использования при получении высококачественного посадочного материала, адаптированного для выращивания в полевых условиях, подходящие светильники, влияющие на коэффициент размножения, количество укоренившихся растений, количество корней, длину корней, длину побега, количество листьев, количество хлорофилла, индекс азотного баланса.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. На этапе микроразмножения подвоев и сортов сливы на питательной среде Мурасиге и Скуга необходимо использовать светильники – светодиодный СПБ-Т8-ФИТО, светодиодный ULI-P10/SPFR IP40 WHITE, лампу светодиодную LED-T8 или их аналоги, что позволяет получить коэффициент размножения от 3,1 до 5,9, длину побегов – от 3,3 до 4,5 см.

2. На этапе ризогенеза подвоев и сортов сливы на питательной среде Мурасиге и Скуга необходимо использовать светильник светодиодный СПБ-Т8-ФИТО, фитосветильник светодиодный ДСП 01-3 × 6-005-УХЛ2 БИО или их аналоги, что позволяет получать укоренившиеся растения от 36,4 до 84,4 %, количество корней на растении от 3 до 12 шт., длину корней от 20,0 до 48,3 см.

3. На этапе адаптации *ex vitro* подвоев и сортов сливы рекомендуется использовать фитосветильник светодиодный ДСП 01-3 × 6-005-УХЛ2 БИО, лампу светодиодную LED-T8 или их аналоги, что позволяет получать длину побега растений от 33,1 до 41,2 см; количество листьев на растении от 33,7 до 37,0 шт.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1. Коэффициент размножения регенерантов подвоев и сортов сливы домашней на II и IV пассажах в зависимости от различных спектров

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

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

Таблица 2. Влияние различных спектров на укоренение подвоев и сортов сливы домашней *in vitro*

Подвой / сорт	Вариант	Укоренившихся растений, %	Количество корней, шт.	Длина корней, мм
ВПК-1	Контроль	53,2	4,7±0,88cde	4,2±0,44h
	Полный спектр	45,5	5,0±0,76cd	4,2±0,44h
	Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	58,4	9,0±3,06b	3,9±0,91h
	Красный, синий	60,5	12,0±2,08a	4,9±0,92gh
	Красный, синий, оранжевый	51,8	6,0±2,08c	20,0±5,77bcdefg

Окончание табл. 2 Приложения

Подвой / сорт	Вариант	Укоренившихся растений, %	Количество корней, шт.	Длина корней, мм
ЖФ 655/2	Контроль	80,0	2,5±0,87def	10,5±0,87efgh
	Полный спектр	59,2	3,0±0,27cdef	3,4±0,32h
	Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	64,8	3,0±0,00cdef	30,0±5,77bc
	Красный, синий	84,4	2,2±0,44def	8,3±0,15fgh
	Красный, синий, оранжевый	54,5	3,0±0,58def	11,0±0,58efgh
Венгерка белорусская	Контроль	30,1	1,1±0,06f	21,1±5,72bcdef
	Полный спектр	34,0	1,0±0,00f	6,5±0,29fgh
	Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	37,4	1,0±0,00f	11,0±1,15efgh
	Красный, синий	26,3	1,3±0,07f	21,2±5,26bcdef
	Красный, синий, оранжевый	36,4	1,3±0,09f	21,3±4,06bcdef
Венера	Контроль	46,6	1,3±0,33f	27,2±3,98bcd
	Полный спектр	50,5	2,3±0,60def	13,3±0,35defgh
	Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	67,2	2,0±0,58def	48,3±1,67a
	Красный, синий	43,3	1,7±0,33ef	27,3±3,84bcd
	Красный, синий, оранжевый	45,8	3,0±0,58def	15,0±12,50cdefgh
Эмпресс	Контроль	24,5	1,2±0,23f	15,5±2,98cdefgh
	Полный спектр	30,8	1,2±0,23f	18,7±6,27bcdefgh
	Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	36,9	1,0±0,00f	17,3±3,84cdefgh
	Красный, синий	28,6	1,4±0,31f	24,1±5,51bcde
	Красный, синий, оранжевый	8,0	1,7±0,33ef	33,3±8,82b

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

Таблица 3. Влияние различных спектров на длину побега растений сливы на этапе адаптации *ex vitro*, см

Вариант	ЖФ 655/2	Венгерка белорусская	Эмпресс
Контроль	36,8±5,46b	28,3±0,26abce	28,0±4,33abce
Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	20,8±2,88cde	13,9±0,87d	16,5±1,75de
Красный, синий	22,7±0,66acde	18,4±1,17de	21,9±1,39cde
Красный, синий, оранжевый	41,2±0,23b	36,0±6,64ab	33,1±10,29abc

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

Таблица 4. Влияние различных спектров на количество листьев растений сливы на этапе адаптации *ex vitro*, шт.

Вариант	ЖФ 655/2	Венгерка белорусская	Эмпресс
Контроль	33,7±4,91ab	29,0±0,58be	25,0±2,89de
Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	19,0±2,52cdf	21,0±0,58def	12,7±2,03c
Красный, синий	16,0±0,58cf	16,7±2,03cf	23,0±1,00def
Красный, синий, оранжевый	22,7±0,88def	37,0±3,46a	27,3±3,53be

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

Таблица 5. Влияние различных спектров на количество хлорофилла (мг/см²), количество флавоноидов (мг/см²), индекс азотного баланса (единиц) в листьях растений сливы на этапе адаптации *ex vitro*

Вариант	ЖФ 655/2				Вентерка белорусская				Эмпрессе						
	21 июля	11 авг.	1 сент.	22 сент.	13 окт.	21 июля	11 авг.	1 сент.	22 сент.	13 окт.	21 июля	11 авг.	1 сент.	22 сент.	13 окт.
Количество хлорофилла															
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	28,2± 3,83	31,5± 3,37	34,2± 2,54ab	35,7± 3,94ab	28,2± 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± 1,77	27,0± 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	25,8± 1,60	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	29,3± 0,75	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± 1,58cd
Количество флавоноидов															
Контроль	0,79± 0,143	0,79± 0,018	0,72± 0,083	0,63± 0,046	0,68± 0,139a	0,58± 0,102	0,65± 0,100	0,70± 0,106	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± 0,077	0,66± 0,097	0,61± 0,035	0,46± 0,0153b	0,75± 0,110	0,65± 0,161	0,68± 0,163	0,74± 0,173	0,52± 0,060ab
Красный, синий	0,72± 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	0,56± 0,044	0,60± 0,102ab	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	0,51± 0,030ab	0,57± 0,026	0,66± 0,055	0,67± 0,110	0,62± 0,056	0,56± 0,007ab	0,60± 0,105	0,59± 0,115	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	46,1± 9,24ab	48,8± 7,66ab	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	41,3± 1,28abc	46,3± 2,09ab	48,7± 4,57ab	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	53,8± 6,00	55,1± 8,31	40,6± 1,52ac	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	51,9± 2,76	53,1± 1,16	39,6± 1,63acd	41,5± 1,95b	53,8± 4,70a	57,6± 8,67	53,5± 4,09

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тихомиров, А. А. Спектральный состав света и продуктивность растений / А. А. Тихомиров, Г. М. Лисовский, Ф. Я. Сидько. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 168 с.
2. Wheat growth under a light source with and without blue photon supplementation / D. J. Barta [et al.] // ASGSB Bull. – 1991. – № 5. – P. 51.
3. Light-emitting diodes as a radiation source for plants / R. J. Bula [et al.] // HortSci. – 1991. – Vol. 26. – № 2. – P. 203–205.
4. Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting / G. D. Goins [et al.] // J. of experimental botany. – 1997. – Vol. 48. – № 312. – P. 1407–1413.
5. The responses of light interception, photosynthesis and fruit yield of cucumber to LED-lighting within the canopy / G. Trouwborst [et al.] // Physiol. Plantarum. – 2010. – Vol. 138. – P. 289–300.
6. Plant productivity in response to LED lighting / G. D. Massa [et al.] // HortSci. – 2008. – Vol. 43 (7). – P. 1951–1956.
7. The effect of light-emitting diodes lighting on the growth of tomato transplants / A. Brazaitytė [et al.] // Zemdirbyste Agr. – 2010. – Vol. 97. – № 2. – P. 89–98.
8. Тертышная, Ю. В. Влияние спектрального состава света на развитие сельскохозяйственных культур / Ю. В. Тертышная, Н. С. Левина // С.-х. машины и технологии. – 2016. – № 5. – С. 24–29.
9. Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: реальность и перспективы / И. Бахарев [и др.] // СТА. – 2010. – № 2. – С. 76–82.
10. Баулина, Л. В. Факторы культивирования *in vitro* и их влияние на рост и развитие растений земляники *in vitro* и *in vivo* : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Л. В. Баулина ; Рос. гос. аграр. ун-т. – М., 2012. – 26 с.
11. Изучение влияния различных видов освещения на рост и развитие меристемных растений картофеля *in vitro* / А. В. Мелехин [и др.] // Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. – 2015. – Т. 17, № 4 (3). – С. 578–580.
12. Оптимизация условий освещения при культивировании микроклонов *Solanum tuberosum* L. сорта Луговской *in vitro* / И. Ф. Головацкая [и др.] // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. – 2013. – № 4 (24). – С. 133–144.
13. Никиткина, Э. Г. Влияние ионов меди на микроклонирование *Lychnis chalcedonica* L. в условиях селективного света : вып. бакалавр. работа по направлению подгот. : 06.03.01 / Э. Г. Никиткина. – Томск, 2016. – 54 с.
14. Анализ сортовых различий растений-регенерантов картофеля *in vitro* при использовании светодиодных светильников / Т. В. Никонович [и др.] // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. : науч.-методич. журн. – 2018. – № 1. – С. 73–78.
15. Федоренко, М. П. Преимущества использования светодиодного освещения для растений / М. П. Федоренко, А. М. Шегрикович // Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси : материалы X Междунар. молодеж. науч.-практ. конф., г. Пинск, 15 апреля 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Полес. гос. ун-т ; редкол.: К. К. Шебеко [и др.]. – Пинск, 2016. – Ч. 1. – С. 516–518.
16. Курьянова, И. В. Оценка влияния различных спектров светодиодного светильника на рост и развитие овощных культур / И. В. Курьянова, С. И. Олонина // Вестн. НГИЭИ. – 2017. – № 7 (74). – С. 35–44.
17. Фотосинтез и продуктивность растений картофеля в условиях различного спектрального облучения / Ю. Ц. Мартиросян [и др.] // С.-х. биология. – 2013. – № 1. – С. 107–112.
18. Фотосинтез и продуктивность растений базилика (*Ocimum basilicum* L.) при облучении различными источниками света / М. Н. Полякова [и др.] // С.-х. биология. – 2015. – Т. 50, № 1. – С. 124–130.
19. Тихомиров, А. А. Светокультура растений в теплицах : учеб. пособие / А. А. Тихомиров, В. П. Шарупич, Г. М. Лисовский. – Новосибирск : СО РАН, 2013. – 205 с.
20. Шпак, М. Ю. Изучение влияния света искусственных диодов различного спектрального состава на ризогенез земляники садовой (*Fragaria × Ananassa Duch.*) в культуре *in vitro* / М. Ю. Шпак // Техника и технологии: инновации и качество : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Барановичи, 19 дек. 2017 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т, Студен. науч. общество БарГУ ; редкол.: В. В. Климук (гл. ред.) [и др.]. – Барановичи, 2017. – С. 174–175.
21. 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.
22. 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.
23. Dualex 4 Flavonols & Chlorophyll-meter. Instruction Manual [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.dynamax.com/images/uploads/papers/Dualex.pdf>. – Date of access: 01.06.2018.
24. Размножение плодовых и ягодных растений в культуре *in vitro* / Н. В. Кухарчик [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2016. – 208 с.

**METHODOLOGICAL RECOMMENDATIONS FOR LIGHTING MODES
FOR DOMESTIC PLUM GROWING AT THE STAGES OF MICRO-PROPAGATION,
IN VITRO ROOTING AND *EX VITRO* ADAPTATION**

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

Summary

Methodological recommendations for lighting modes for growing rootstocks and varieties of domestic plum at the stages of micro propagation, *in vitro* rooting and *ex vitro* adaptation determine the usage of lamps with different light spectra, allowing to obtain more higher results of micro clonal propagation, including: the height of regenerated plants and the number of leaves, the propagation ratio; development of the root system; growth and physiological state at the stage of *ex vitro* adaptation.

Key words: light spectra, regenerated plants, rootstocks, domestic plum, *in vitro* micro propagation, rooting, *ex vitro* adaptation, shoot length, number of leaves, propagation ratio, Belarus.

Поступила в редакцию 28.03.2022