

УДК 573.6: 635.9:582.931.4: 582.912.46:58.035

М.А. ТРЕЙЛИБ

научный сотрудник отраслевой лаборатории «ДНК и клеточных технологий в растениеводстве и животноводстве»¹

E-mail: trejlib.m@polessu.by

М.П. ФЕДОРЕНКО

ассистент кафедры биотехнологии¹

E-mail: fedorenko.m@polessu.by

Н.В. ВОДЧИЦ

заведующий отраслевой лабораторией «ДНК и клеточных технологий в растениеводстве и животноводстве»¹

E-mail: vodchits.n@polessu.by

¹Полесский государственный университет, г. Пинск, Республика Беларусь

Статья поступила 3 октября 2024 г.

ПРИМЕНЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ РАЗЛИЧНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ПРИ МИКРОКЛОНАЛЬНОМ РАЗМНОЖЕНИИ ЯГОДНЫХ И ДЕКОРАТИВНЫХ КУЛЬТУР

*Представлены результаты исследований влияния светодиодного освещения на рост и развитие растений-регенерантов трех сортов сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.) и одного сорта голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) в процессе микроклонального размножения *in vitro*. Средняя плотность потока фотонов на уровне внешней стеклянной поверхности сосуда для культивирования составляла около 30–35 мкмоль/м² с для сирени обыкновенной и около 20–25 мкмоль/м² с для голубики высокорослой. Наибольшее количество побегов у регенерантов голубики сорта *Dike* выявилось при освещении светодиодными лампами СВД2. Высота микропобега под вариантом СВД1 и СВД2 была максимальна и практически равна.*

*Применение светодиодных светильников варианта СВД1 и СВД2 позволяет получать большее количество черенков голубики высокой для последующего размножения *in vitro*, по сравнению с другими тестируемыми вариантами спектрального состава освещения.*

*Световые волны, подходящие для каждого сорта сирени, необходимо подбирать экспериментальным путем. Лучший результат показателя высоты регенерантов для сорта *Память о Колесникове* был в контрольном варианте освещения.*

Ключевые слова: *светодиоды, спектр, сирень обыкновенная, голубика высокая, регенеранты, микроклональное размножение.*

TREJLIB M.A., Researcher Industry Laboratory «DNA and Cell Technologies in Crop and Animal Husbandry»¹

FEDORENKO M.P., Assistant Professor of Biotechnology¹

VODCHIC N.V., Head of Industry Laboratory «DNA and cell Technologies in Crop and Animal Husbandry»¹

¹Polessky State University, Pinsk, Republic of Belarus

APPLICATION OF LIGHTING OF DIFFERENT SPECTRAL COMPOSITION IN MICROCLONAL PROPAGATION OF BERRY AND ORNAMENTAL PLANTS

*The results of research into the impact of LED illumination on the growth and development of regenerated plants of three varieties of common lilac *Syringa vulgaris* L. and one variety of *Vaccinium corymbosum* L. in the process of microclonal propagation *in vitro* are presented.*

The average photon flux density at the level of the outer glass surface of the cultivation vessel was about 30–35 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$ for common lilac and about 20–25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{-s}$ for highbush blueberry.

*The highest number of shoots in regenerated plants of Duke's blueberry cultivar was revealed under illumination with LED lamps of SVD2. The height of microshoots under the variant SVD1 and SVD2 was maximum and practically equal. The use of LED lights of the SVD1 and SVD2 variant allows obtaining a larger number of cuttings of high blueberry for subsequent propagation *in vitro*, compared to other tested variants of the spectral composition of illumination.*

The light wavelengths suitable for each lilac cultivar should be selected experimentally.

The best result of the regenerants height index for the variety Memory of Kolesnikov was in the control lighting variant.

Keywords: LED, spectrum, common lilac, high blueberry, microclonal propagation.

Введение. Среди декоративных кустарников, культивируемых в коллекциях ботанических садов и на частных приусадебных участках, сирень обыкновенная является одним из наиболее популярных [1]. Сорты *Syringa vulgaris* являются сложными гибридами и при посеве семенами не сохраняют ценные родительские признаки – величину и строение цветочной кисти, окраску и махровость цветка [2].

Следовательно, возникает необходимость в разработке способов размножения сирени, которые были бы универсальными для всех сортов и позволили бы создать рентабельную технологию быстрого воспроизводства посадочного материала [3].

В настоящее время на территории Беларуси возделыванием голубики высокорослой занимаются как специализированные организации, так и фермерские хозяйства. Плантации заложены во всех областях, но наибольшее распространение эта культура получила в Брестской области – 73% от занимаемой площади [4].

Постоянный спрос на посадочный материал невозможно удовлетворить только за счет методов черенкования *in vivo* [5].

Успехи, достигнутые в области микроклонального размножения растений, позволяют выделить этот способ как наиболее перспективный для многих декоративных и ягодных культур.

При оптимизации технологии *in vitro* в промышленных объемах важно обеспечить экономическую эффективность используемых методов. Это можно реализовать за счет сокращения этапов размножения, энергоэф-

фективных источников освещения и увеличения выхода адаптированных растений высокого качества [2].

На всех этапах микроклонального размножения важнейшим условием для нормального функционирования растений является свет. Разные участки спектрального диапазона оказывают специфическое действие на регуляцию различных морфогенетических и физиологических процессов [6].

Цель – установить оптимальные параметры света различного спектрального диапазона на рост и развитие растений-регенерантов декоративных и ягодных культур при клональном микроразмножении.

Материалы и методика исследований. Исследования проводили на базе отраслевой лаборатории «ДНК и клеточных технологий в растениеводстве и животноводстве» биотехнологического факультета учреждения образования «Полесский государственный университет» (далее ОЛ ДНКиКТРиЖ ПолесГУ).

Объектом исследования являлись растения-регенеранты трех сортов сирени обыкновенной (Памяти Колесникова, Маршал Жуков, Великая Победа), полученные методом клонального микроразмножения *in vitro* на базе ОЛ ДНКиКТРиЖ ПолесГУ (предварительно экспланты были переданы из ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси»); растения-регенеранты голубики высокой (сорт Duke), размножаемые в культуре *in vitro* из коллекции ОЛ ДНКиКТРиЖ ПолесГУ.

Микрочеренки по 30 штук (сирень) культивировали в стеклянных сосудах объемом

330 мл со стерильной агаризованной питательной средой Мурасиге-Скуга стандартного состава в присутствии Na с добавлением фитогормона БАП концентрацией 1 мг/л. Микрочеренки голубики 50 штук выращивались на питательной среде Андерсона в модификации. Емкости размещали на полках с разными по спектру источниками света, при фотопериоде 16/8. Расстояние между источником освещения и растениями в банках составляло около 30–35 см. Средняя плотность потока фотонов на уровне внешней стеклянной поверхности сосуда для культивирования составляла около 30–35 мкмоль/м²·с для сирени обыкновенной и около 20–25 мкмоль/м²·с – для голубики высокорослой.

Замер спектральных характеристик источников освещения на поверхности сосуда для культивирования растений-регенерантов проводили с помощью портативного спектрометра PAR PG200N (производитель UPRtek, Тайвань).

Замер регенерантов осуществляли с помощью миллиметровой бумаги. Анализировали количество побегов, высоту растения-регенеранта (данный показатель рассчитывали как среднее арифметическое высоты всех его побегов), коэффициент размножения растения-регенеранта (количество микрочеренков, получаемых при черенковании из одного растения-регенеранта для последующего размножения). Опыты проводили в трехкратной биологической повторности.

Результаты исследований и их обсуждение. В качестве опытных вариантов освещения были использованы линейные светодиодные светильники серии ДДП трех спектров (варианты опыта СВД1, СВД2, СВД3),

которые были предоставлены компанией ООО «Арлайт и К» (г. Брест, Республика Беларусь) для проведения исследований в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве с УО «Полесский государственный университет».

Опытные светодиодные светильники разрабатывались совместно сотрудниками двух организаций, имеют облегченную конструкцию, легкую и быструю систему крепления, оснащены регулятором интенсивности излучения и предлагаются для использования при выращивании различных растений в условиях многоярусных стеллажных конструкций.

В качестве контрольного варианта использовали стандартные недорогие пластиковые светодиодные трубки со светодиодной лентой внутри, которые монтировались в светильники взамен люминесцентных ламп, имели спектральный состав, соответствующий дневному белому свету.

Характеристика вариантов освещения, применяемых в опытах, представлена в таблице.

Уровень плотности потока фотонов в диапазоне 400–499 нм (фиолетово-синий) для трех вариантов светодиодного освещения находился в пределах 14–17,7% от всего светового потока в области 400–800 нм, при этом для вариантов СВД1 и СВД3 эта величина практически одинаковая, 17,7 и 17,0% соответственно, в то время как для СВД2 несколько ниже – 14%. Доля зелено-желтой области (500–599 нм) спектра для вариантов СВД1 и СВД2 имела близкие значения – 22,0 и 28,0% соответственно, в то время как у варианта СВД3 она была выше в 1,6–2,0 раза и составляла 45%.

Таблица – Спектральные характеристики источников освещения

Вариант освещения	Потребляемая мощность, Вт	Плотность Потока Фотонов в диапазоне 400–799 нм, %				Соотношение диапазонов спектра Красный: Синий
		400–499 нм	500–599 нм	600–699 нм	700–799 нм	
СВД1	~20	17,7	22,0	53,8	6,5	~3,0
СВД2	~20	14,0	28,0	57,0	1,0	~4,0
СВД3	~20	17,0	45,0	35,0	3,0	~2,0
Контроль	~36	16,0	48,0	32,0	4,0	~2,0

Примечание – ППФ – плотность потока фотонов; С – фиолетово-синий диапазон спектра (300–499 нм); З – зелено-желтый диапазон спектра (500–599 нм); К – оранжево-красный диапазон спектра (600–699 нм); ДК – дальний красный диапазон спектра (700–750 нм).

В оранжево-красном диапазоне спектра (600–699 нм) уровень ППФ был достаточно высоким для всех вариантов освещения, но по сравнению с зелено-желтой областью спектра имел несколько обратную ситуацию: так для вариантов СВД1, СВД2 данная область спектра составляла более половины всего излучения (53,8% и 57,0% соответственно), а для варианта СВД3 ниже в 1,5–1,6 раза и составила 35%. Дальнего красного света (700–750 нм) в спектрах вариантов СВД2 и СВД3 было 1,0 и 3,0%, в то время как у варианта СВД1 – 6,5%.

Варианты СВД1 и СВД2 были достаточно близки к друг другу по количественному соотношению диапазонов спектра, в то время как вариант СВД3 резко отличался от двух других большей долей зелено-желтой и меньшей долей оранжево-красной области. Соотношение красного диапазона к синему у всех светильников было различным, при этом сохранялась зелено-желтая область. Так, соотношение красного к синему спектру в варианте СВД 1 было 3:1, в варианте СВД2 – 4:1, в варианте СВД3 – 2:0. Во всех вариантах пики излучения в синей области приходились

на 450–460 нм, в красной области спектра – на 650–660 нм, что соответствует пикам поглощения хлорофилла.

Контрольный вариант освещения по спектральным характеристикам оказался наиболее близок к опытному варианту СВД3, т.к. имел примерно такую же долю всех диапазонов спектра и такое же соотношение красного к синему спектров – 2,0.

Спектрограммы источников освещения представлены на рисунке 1.

Высота регенерантов для сорта Маршал Жуков имела максимальные значения признака под вариантом светодиодных светильников – СВД1, минимальные значения под светодиодными светильниками – СВД2 (рисунок 2).

Для сорта сирени Великая Победа максимальные значения признака выявлены под вариантом светодиодных светильников СВД1 и СВД2, минимальные значения под контрольным вариантом освещения. Для сорта сирени Память о Колесникове: максимальные значения под контролем, минимальные – вариант светодиодных светильников СВД1 [7].

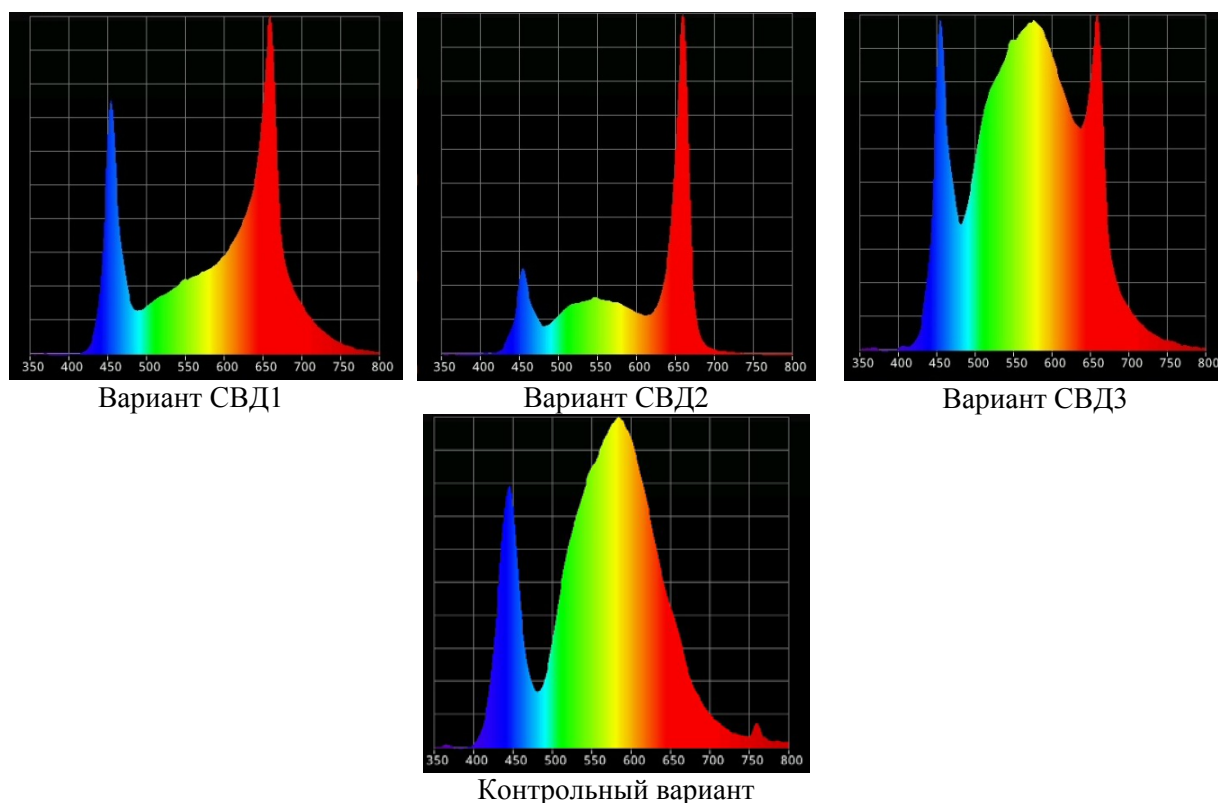


Рисунок 1. – Спектрограммы источников освещения

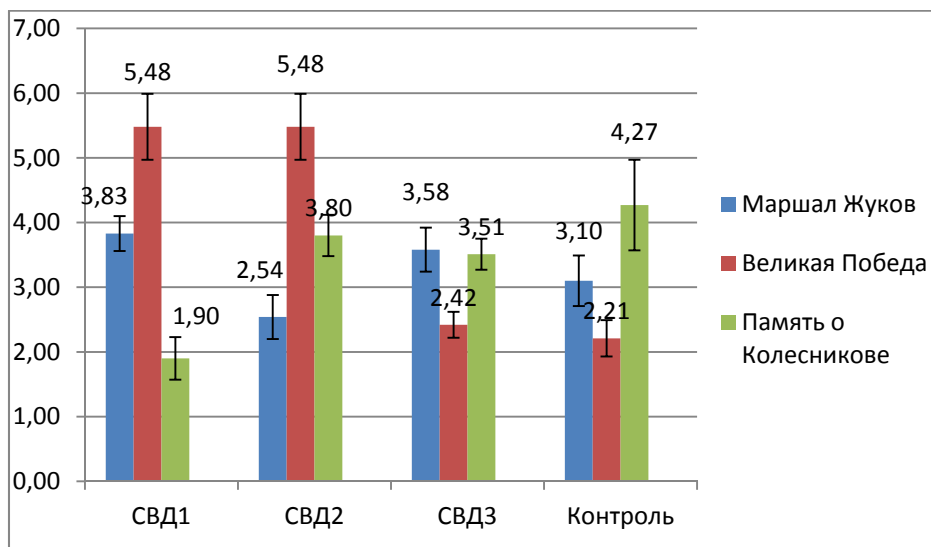


Рисунок 2. – Высота регенерантов сирени обыкновенной (среднее арифметическое \pm стандартная ошибка среднего)

Анализ показателя коэффициента размножения растений-регенерантов выявил для сорта сирени Маршал Жуков максимальные значения под вариантом светодиодного освещения СВД1, минимальные значения под контрольным вариантом освещения (рисунок 3).

Для сорта сирени Великая Победа: максимальные значения признака выявлены под вариантом светодиодных светильников СВД1 и СВД2, минимальные – вариант светодиодных светильников – СВД3. Для сорта Память о Колесникове: максимальные значения были

под вариантом светодиодных светильников СВД2, минимальные – вариант СВД1.

При анализе коэффициента размножения было обнаружено большое значение ошибки среднего у сорта Память о Колесникове. Причиной, вероятнее всего, стало наличие внутренней инфекции у эксплантов.

Анализ показателя признака количества побегов у растений-регенерантов сорта сирени обыкновенной Маршал Жуков установил наибольшее значение в варианте светодиодного светильника СВД1, наименьшее – под светодиодными светильниками вариант СВД3 (рисунок 4).

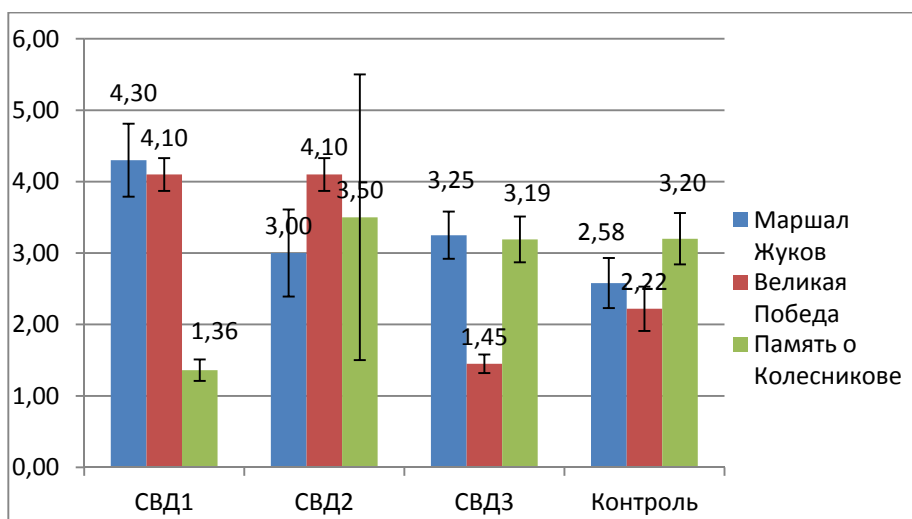


Рисунок 3. – Коэффициент размножения разных сортов сирени обыкновенной (среднее арифметическое \pm стандартная ошибка среднего)

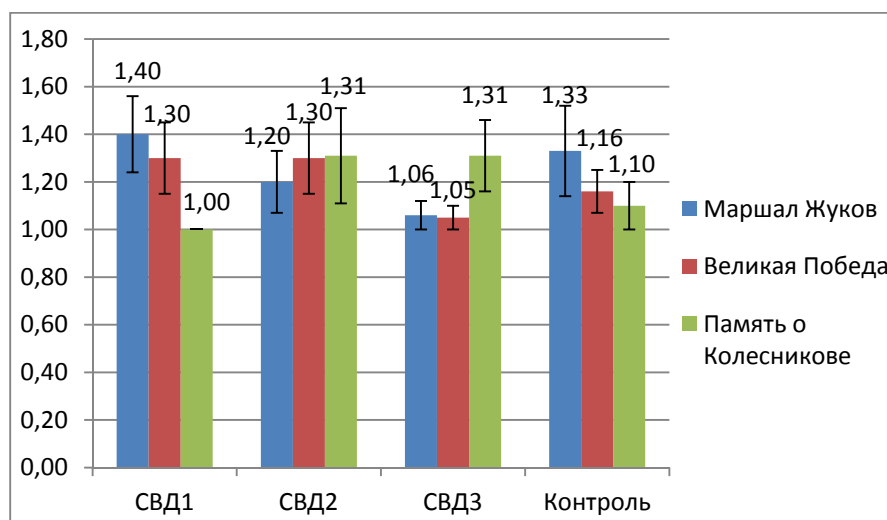


Рисунок 4. – Количество побегов разных сортов сирени обыкновенной (среднее арифметическое ± стандартная ошибка среднего)

У сорта Великая Победа: наибольшее значение – под светодиодными светильниками вариант СВД1 и СВД2, наименьшее значение в варианте светодиодного светильника СВД3. У сорта Память о Колесникове: наибольшее значение – вариант светодиодных светильников СВД2 и СВД3, наименьшее – СВД1.

На рисунке 5 приведены средние значения анализируемых признаков у регенерантов голубики высокой сорта Duke *in vitro* при разном спектральном составе излучения.

Анализ показателя признака количества побегов у растений-регенерантов в зависимости от спектрального состава излучения установил наибольшее значение для свето-

диодного светильника СВД2 – остальные варианты были на 11–19% достоверно ниже.

Анализ показателя высоты растения-регенеранта выявил следующее: значения признака у варианта СВД1 и СВД2 были максимальны и практически равны, при этом превышали на 57–59% контрольный вариант и на 10–11% вариант СВД3.

Анализ показателя коэффициента размножения растения-регенеранта выявил следующее: максимальные значения признака зафиксированы у варианта СВД1 (3,09) и СВД2 (3,37), достоверных различий между данными значениями не выявили.

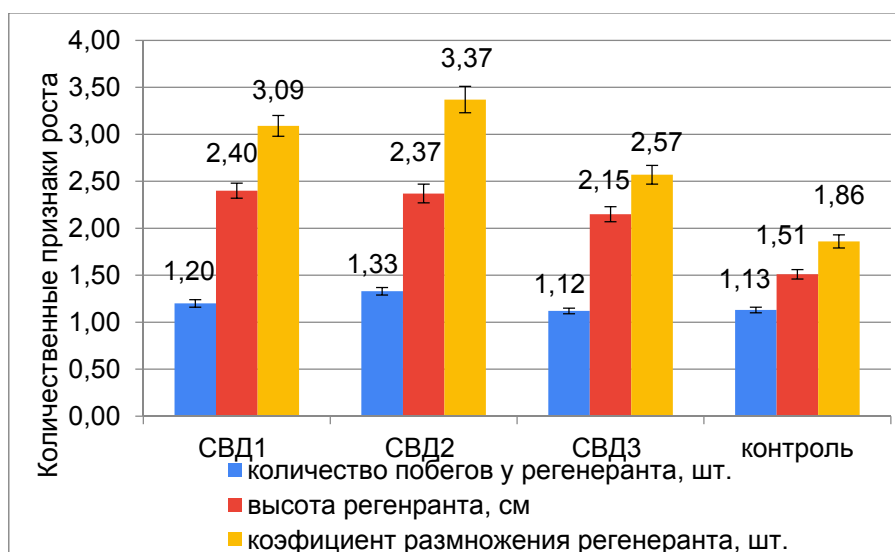


Рисунок 5. – Изменчивость количественных признаков у регенерантов голубики высокой сорта Duke *in vitro* при разном спектральном составе излучения (среднее арифметическое ± стандартная ошибка)

При этом среднее значение варианта СВД2 достоверно превышало на 81% контроль, и на 31% вариант СВД3; а значение варианта СВД1 достоверно превышало на 69% контроль, и на 20% СВД3.

Таким образом, применение светодиодных светильников варианта спектра СВД1 и СВД2 позволяет получать на 69–80% большее количество черенков голубики высокой сорта Duke для последующего размножения *in vitro*, по сравнению с контрольным вариантом освещения, при этом потребляя ориентировочно в 1,5–1,8 раза меньше электроэнергии чем контрольный образец [8].

Заключение. Использование светодиодных источников освещения вариантов СВД1 и СВД2 оказывали положительное влияние на высоту регенерантов для сортов сирени обыкновенной Маршал Жуков и Великая Победа. Лучший результат для сорта Память о Колесникове был в контрольном варианте освещения.

По показателю коэффициента размножения растений-регенерантов сорта Маршал Жуков ряд выглядит следующим образом: спектр 1 > спектр 3 > спектр 2 > контроль; для сорта Великая Победа: спектр 1 ≥ спектр 2 > контроль > спектр 3; для сорта Память о Колесникове: спектр 2 > контроль > спектр 3 > спектр 1.

Отмечено статистически достоверное увеличение количества побегов под светодиодными источниками спектра СВД1 для сорта Маршал Жуков (1,4) и спектра СВД2 для сортов Великая Победа и Память о Колесникове (1,3).

Анализ показателя признака количества побегов у растений-регенерантов в зависимости от спектрального состава излучения установил наибольшие значение признака для варианта СВД2.

Высота микроклонов голубики высокорослой под вариантом СВД1 и СВД2 были максимальны и практически равны. Применение светодиодных светильников варианта СВД1 и СВД2 позволяет получать большее количество черенков голубики высокой сорта Duke для последующего размножения *in vitro*, по сравнению с другими тестируемыми вариантами спектрального состава освещения.

Список литературы

1. Полякова, Н. В. Виды сирени и перспективы их использования в озеленении в Республике Башкортостан / Н. В. Полякова. // Плодоводство и ягодоводство России : сб. науч. тр. / ФГБНУ ВСТИСП ; гл. ред.: И. М. Куликов. – 2019. Т. 58. – С. 58–65.
2. Сергейчук, А. Г. Особенности доращивания растений сирени обыкновенной, полученных методом микроклонального размножения / А. Г. Сергейчук, В. Д. Стрелец // Известия ТСХА. – 2007. – № 3. С. 113–117.
3. Янтурина, А. Р. Укоренение микроклонов сирени обыкновенной / А. Р. Янтурина // Актуальные исследования. – 2023. – № 23 (153). – Ч.1. – С. 6–8.
4. Сидоренко, Т. Н. Особенности микроклонального размножения и укоренения голубики высокорослой / Т. Н. Сидоренко, Е. Г. Левзикова // Плодоводство. – 2020. – Т. 32 (1). – С. 154–158.
5. Грибок, Н. А. Оптимизация условий культивирования голубики высокой *Vaccinium corymbosum* L. *in vitro* / Н. А. Грибок, А. В. Зубарев, В. Н. Решетников // Голубиководство в Беларуси: итоги и перспективы : материалы Респуб. науч.-практ. конф., Минск, 17 авг. 2012 г. / Национальная академия наук Беларуси. Центральный ботанический сад ; редкол.: В.В. Титок (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2012. С. 23–26.
6. Макаров, С. С. Применение освещения различного спектрального диапазона при клональном микроразмножении лесных ягодных растений / С. С. Макаров [и др.] // Изв. вузов. Лесн. журн. – 2022. – № 6. – С. 82–93.
7. Трейлиб, М. А. Изменчивость параметров роста и развития регенерантов *Syringa vulgaris in vitro* в условиях разного спектрального состава светодиодных светильников / М. А. Трейлиб, Н. В. Водчиц // Пинские чтения : материалы II междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 3 окт. 2024 г. / УО “Полесский государственный университет”, Министерство образования Республики Беларусь [и др.] ; редкол.: В. И. Дунай [и др.]. – Пинск: ПолесГУ, 2024. – С. 80–83.
8. Федоренко, М. П. Тестирование светодиодных светильников производства ООО

”Арлайт и К” на растениях голубики высокой *Vaccinium corymbosum* L. *in vitro* / М. П. Федоренко, Д. В. Карпик, А. А. Лоцикая, К. О. Лахина // Материалы I Международной научной конференции УО “Полесский государственный университет”, г. Пинск; Каракалпакский государственный университет имени Бердаха, г. Нукус : 14 декабря 2023 / Министерство образования РБ [и др.]; редкол. В.И. Дунай [и др.] – Пинск : ПолесГУ, 2023. – С.386–388.

References

1. Polyakova N. V. Vidy sireni i perspektivy ih ispol'zovaniya v ozelenenii v Respublike Bashkortostan [Lilac species and prospects for their use in landscaping in the Republic of Bashkortostan] *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii : sb. nauch. tr.* [Fruit and berry growing in Russia : a collection of scientific articles.], 2019, vol. 58, pp. 58–65. (In Russian)
2. Sergejchuk A. G., Strelec V. D. Osobennosti dorashchivaniya rastenij sireni obyknovенной, poluchennyh metodom mikroklonal'nogo razmnozheniya [Peculiarities of pre-growing of common lilac plants obtained by microclonal propagation method] *Izvestiya TSHA* [Proceedings of the TCAA], 2007, no. 3, pp. 113–117. (In Russian)
3. Yanturina A. R. Ukorenenie mikroklonov sireni obyknovенной [Rooting of common lilac microclones] *Aktual'nye issledovaniya* [Current research], 2023, no. 23 (153), pp. 6–8. (In Russian)
4. Sidorenko T. N., Levzikova E. G. Osobennosti mikroklonal'nogo razmnozheniya i ukoreneniya golubiki vysokorosloj [Features of microclonal propagation and rooting of high-bush blueberry] *Plodovodstvo* [Horticulture], 2020, T. 32 (1), pp. 154–158. (In Russian)
5. Gribok N. A., Zubarev A. V., Reshetnikov V. N. Optimizaciya uslovij kul'tivirovaniya golubiki vysokoj *Vaccinium corymbosum* L. *in vitro* [Optimization of cultivation conditions of high blueberry *Vaccinium corymbosum* L. *in vitro*] *Golubikvodstvo v Belarusi: itogi i perspektivy : materialy Respub. nauch.-prakt. konf., Minsk* [Pigeon breeding in Belarus: results and prospects : materials of Respub. scientific-practical conf., Minsk], Nacional'naya akademiya nauk Belarusi. Central'nyj botanicheskij sad [National Academy of Sciences of Belarus. Central Botanical Garden]. 2012, pp. 23–26. (In Russian)
6. Makarov S. S. Primenenie osveshcheniya razlichnogo spektral'nogo diapazona pri klonal'nom mikrorazmnozhenii lesnyh yagodnyh rastenij [Application of illumination of different spectral range in clonal micropropagation of forest berry plants] *Izv. vuzov. Lesn. Zhurn* [Izv. of universities. Lesn. zhurn.], 2022, no. 6, pp. 82–93. (In Russian)
7. Trejlib M. A., Vodchic N. V. Izmenchivost' parametrov rosta i razvitiya regenerantov *Syringa vulgaris* *in vitro* v usloviyah raznogo spektral'nogo sostava svetodiodnyh svetil'nikov [Variability of growth and development parameters of *Syringa vulgaris* regenerants *in vitro* under conditions of different spectral composition of LED lamps] *Pinskije chteniya : materialy II mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Pinsk*, [Pinsk readings : proceedings of the II international scientific and practical conference, Pinsk], UO “Poleskij gosudarstvennyj universitet”, Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus [Polesky State University, Ministry of Education of the Republic of Belarus], 2024, pp. 80–83. (In Russian)
8. Fedorenko, M. P., Karpik D. V., Lozickaya A. A., Lahina K. O. Testirovanie svetodiodnyh svetil'nikov proizvodstva ООО ”Арлайт и К” на растениях голубики высокой *Vaccinium corymbosum* L. *in vitro* [Testing of LED lights produced by Arlight and K LLC on high blueberry *Vaccinium corymbosum* L. plants *in vitro*] *Materialy I Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii* [Proceedings of I International Scientific Conference]. Ed. Dunaj V.I. et ai. Pinsk , PolesGU, 2023, pp. 386–388. (In Russian)

Received 3 October 2024