

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА В СОЧЕТАНИИ С ЯНТАРНОЙ И ФОЛИЕВОЙ КИСЛОТОЙ НА РОСТ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ (*FRAGARIA* × *ANANASSA DUCH.*) В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*

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

РУП «Брестская областная сельскохозяйственная опытная станция НАН Беларуси»,
г. Пружаны, Республика Беларусь, 224145, e-mail: elena.v.poukh@yandex.by

(Поступила в редакцию 20.03.2026)

Исследования проводились в лабораторных условиях в отделе плодородия РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси». В статье представлены результаты исследований за 2021–2022 годы по изучению влияния спектрального состава света, янтарной и фолиевой кислот в составе питательной среды на рост растений-регенерантов земляники садовой сорта Азия на этапе укоренения *in vitro*.

На рост и развитие растений-регенерантов земляники садовой сорта Азия на этапе укоренения в культуре *in vitro* оказывают влияние и спектральный состав света, и наличие янтарной и фолиевой кислот в составе питательной среды. Лучший результат по среднему количеству листьев был отмечен на питательной среде МС + фолиевая кислота при спектральном составе «красный, синий» ($7,7 \pm 0,20$ шт.), «полный спектр» ($7,5 \pm 0,07$ шт.), «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» ($7,5 \pm 0,29$ шт.). На диаметр розетки значимое влияние оказала среда МС + фолиевая кислота и спектральный состав света «полный спектр» ($3,0 \pm 0,58$ мм). Достоверные различия по длине розетки отмечены при использовании среды МС + фолиевая кислота и спектрального состава «полный спектр» ($9,1 \pm 0,09$ мм), МС + янтарная кислота и спектрального состава «красный, синий» ($8,4 \pm 0,55$ мм). Значимо больше высота розетки была при использовании спектрального состава «красный, синий» на всех средах: МС (контроль) ($5,0 \pm 0,06$ см), МС + янтарная кислота ($5,1 \pm 0,09$ см), МС + фолиевая кислота ($5,1 \pm 0,03$ см).

Ключевые слова: земляника садовая, укоренение, культура *in vitro*, спектральный состав, Беларусь.

The study was conducted in laboratory conditions at the Fruit Growing Department of the Brest Regional Unitary Enterprise "OSHO NAS of Belarus." This article presents the results of 2021–2022 research examining the influence of the spectral composition of light, succinic and folic acids in the nutrient medium on the growth of regenerated garden strawberry plants of the Asia variety during the *in vitro* rooting stage.

The growth and development of regenerated Asia garden strawberry plants during the rooting stage *in vitro* are influenced by both the spectral composition of light and the presence of succinic and folic acids in the nutrient medium. The best result in terms of the average number of leaves was observed on the MS + folic acid nutrient medium with the spectral composition of "red, blue" (7.7 ± 0.20 pcs.), "full spectrum" (7.5 ± 0.07 pcs.), and "red, blue, infrared, ultraviolet" (7.5 ± 0.29 pcs.). The cone diameter was significantly affected by the MS + folic acid medium and the "full spectrum" light spectral composition (3.0 ± 0.58 mm). Significant differences in rosette length were observed when using MS + folic acid and the "full spectrum" spectral composition (9.1 ± 0.09 mm), MS + succinic acid and the "red, blue" spectral composition (8.4 ± 0.55 mm). Significantly greater rosette height was observed when using the "red, blue" spectral composition on all media: MS (control) (5.0 ± 0.06 cm), MS + succinic acid (5.1 ± 0.09 cm), and MS + folic acid (5.1 ± 0.03 cm).

Key words: garden strawberry, rooting, *in vitro* culture, spectral composition, Belarus.

Введение

Светодиоды обладают определенными преимуществами по сравнению с традиционными источниками освещения и могут излучать свет любой длины волны, в т. ч. физиологически активной радиации (ФАР), необходимой для функционирования растительного организма. При этом узкий диапазон длин волн светодиодов позволяет конструировать источники освещения с любым соотношением разных областей спектра [11]. Светодиодное освещение, энергопотребление которого в 1,5 раза ниже, чем у люминесцентного, обеспечивает нормальный рост и адаптацию, а также формирование нормального пигментного состава листьев растений. Также светодиодное освещение обеспечивает более быструю закладку новых метамеров, что выражается в развитии большего количества листьев [14].

Интенсивность освещения и спектральный состав света играют ключевую роль в процессе роста и развития растений, а также оказывает влияние на биохимический состав выращиваемых культур. Синий свет с длинами волн 430–460 нм способствует укреплению растений, развитию корневой системы. Красный свет необходим для цветения и плодоношения. Спектры 430–460 нм для синего и 640–660 нм для красного света подходят для выращивания большинства растений [13].

В условиях *in vitro* спектральный состав света оказывает большое влияние на процессы роста, регенерации и ризогенеза растений [8, 9]. В связи с этим отмечается избирательная реакция микропобегов земляники при микроклональном размножении на освещение различным спектральным составом, благоприятным для роста и развития микропобегов [6, 10]. При культивировании растений-регенерантов *Fragaria* × *anayasa Duch.* сорта Зенга-Зенгана, использование белого света светодиодов позволило получить более крупные растения с большим коэффициентом размножения и низким уровнем витрификации и каллусообразования в сравнении с лампами дневного света. Для сорта Вента больше подошел монохромный красный свет [15].

В литературных источниках есть информация об использовании янтарной и фолиевой кислот для обработки семян томатов, зерна амаранта, озимой пшеницы [7], вегетирующих растений виногради-

ка [12], в полевых опытах для изучения влияния на фотосинтетическую активность яровой мягкой пшеницы [4], в культуре *in vitro* [2, 3].

Использование янтарной кислоты и ее солей эффективно при клональном микроразмножении сливы сорта Стенли. Значительно снижается уровень хлороза микропобегов, существенно увеличивается количество образовавшихся листьев на экспланте, микропобеги сливы по морфометрическим параметрам превосходят контроль [2, 3, 5].

Целью нашего исследования было выявление влияния спектрального состава света, янтарной и фолиевой кислот в составе питательной среды на рост растений-регенерантов земляники садовой на этапе укоренения в культуре *in vitro*.

Основная часть

Работа проводилась в отделе плодоводства РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси» в 2021–2022 годах в лабораторных условиях. Объекты исследований – растения-регенеранты земляники садовой сорта Азия. При изучении режимов освещения применялись фитолампы с различным спектральным составом света: белый свет (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, 14 Вт; светильник светодиодный (красно-синий спектр 5:1: красный 650 нм, синий 450 нм, 15 Вт; фито светильник светодиодный (красный 610-650 нм, синий 450-465 нм, оранжевый 610-620 нм), 18 Вт. В качестве регуляторов роста применялись янтарная и фолиевая кислоты в концентрации 4,0 мг/л [1, 2, 5]. На этапе укоренения растений в культуре *in vitro* использовали питательные среды в следующих вариантах: 1) среда ½ Мурасиге и Скуга (МС) (контроль) с содержанием индолилмасляной кислоты (ИМК) 0,5 мг/л, гибберелловой кислоты (ГК₃) 0,1 мг/л; 2) среда ½ МС + янтарная кислота, 3) среда ½ МС + фолиевая кислота.

Для оценки эффективности влияния спектрального состава света, янтарной и фолиевой кислот в составе питательной среды на развитие растений-регенерантов земляники садовой в культуре *in vitro* на этапе укоренения были изучены следующие показатели: среднее количество листьев (шт.), средний диаметр рожка (мм), средняя длина рожка (мм), средняя высота розетки (см). Растения культивировали в течение 3–4 недель при температуре +21–23 °С, освещенности 2,5–3,5 тыс. лк, фотопериод 16/8 часов. Повторность трехкратная, по 10 растений в повторности. Статистическую обработку проводили, используя ANOVA, двухфакторный дисперсионный анализ, критерий Дункана при $p < 0,05$ для сравнения средних значений в программе *Statistica 10.0*. В таблице данные представлены в виде «среднее значение ± стандартная ошибка».

Влияние состава спектрального состава света, янтарной и фолиевой кислот на показатели роста растений-регенерантов земляники садовой сорта Азия на этапе укоренения *in vitro*

Спектральный состав (фактор А)	Состав питательной среды (фактор В)		
	МС (контроль)	МС + янтарная кислота	МС + фолиевая кислота
Среднее количество листьев, шт.			
Белый свет (контроль)	4,2±0,09e	7,1±0,32ab	6,8±0,15b
Полный спектр	5,9±0,32c	5,9±0,17c	7,5±0,07a
Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	4,1±0,00e	7,3±0,20ab	7,5±0,29a
Красный, синий	4,4±0,12d	7,3±0,17ab	7,7±0,20a
Красный, синий, оранжевый	4,8±0,00d	7,2±0,15ab	6,8±0,29b
Средний диаметр рожка, мм			
Белый свет (контроль)	1,4±0,03bcd	1,9±0,06b	1,7±0,27bc
Полный спектр	1,7±0,06bc	1,8±0,00bc	3,0±0,58a
Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	1,1±0,03d	1,3±0,03cd	1,5±0,03bcd
Красный, синий	1,1±0,03d	1,6±0,03bcd	1,4±0,12bcd
Красный, синий, оранжевый	1,3±0,03cd	1,3±0,03cd	1,5±0,12bcd
Средняя длина рожка, мм			
Белый свет (контроль)	5,5±0,06f	8,2±0,12b	6,4±0,32e
Полный спектр	5,3±0,06fg	7,2±0,23cd	9,1±0,09a
Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	6,3±0,15e	7,8±0,23bc	8,2±0,12b
Красный, синий	5,0±0,00fg	8,4±0,55ab	7,9±0,17bc
Красный, синий, оранжевый	4,7±0,06g	7,4±0,46c	6,5±0,29de
Средняя высота розетки, см			
Белый свет (контроль)	2,9±0,06e	3,0±0,06e	3,0±0,23e
Полный спектр	3,2±0,06de	3,3±0,09d	4,1±0,00c
Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	4,2±0,09c	4,4±0,03bc	4,6±0,15b
Красный, синий	5,0±0,06a	5,1±0,09a	5,1±0,03a
Красный, синий, оранжевый	2,3±0,15f	2,6±0,20f	2,4±0,06f

Примечание. Данные с одинаковыми буквами в столбцах и между столбцами статистически не различаются при $p < 0,05$ (критерий Дункана).

Установлено влияние всех факторов ($p < 0,001$) (спектрального состава света, состава питательной среды и их взаимодействия) на показатели роста растений-регенерантов земляники садовой сорта Азия на этапе укоренения. При этом на количество листьев растений-регенерантов земляники значимое влияние оказали спектральный состав света ($p < 0,01$), состав питательной среды ($p < 0,001$) и совместное действие этих двух факторов ($p < 0,001$). Лучший результат по количеству листьев был отмечен на питательной среде МС + фолиевая кислота при спектральном составе света «полный спектр» (7,5±0,07 шт.), «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» (7,5±0,29 шт.), «красный, синий» (7,7±0,20 шт.) (таблица). Статистическая об-

работка данных позволила выявить зависимость диаметра рожка от спектрального состава света ($p < 0,001$), состава питательной среды ($p < 0,001$) и от совместного действия этих двух факторов ($p < 0,01$). Добавление в среду МС фолиевой кислоты в сочетании со спектральным составом «полный спектр» ($3,0 \pm 0,58$ мм) достоверно влияло на диаметр рожка. Установлено влияние всех факторов ($p < 0,001$) (спектрального состава света, состава питательной среды и их взаимодействия) на длину рожка земляники садовой. Достоверные различия по длине рожка отмечены при использовании среды МС + фолиевая кислота и спектрального состава «полный спектр» ($9,1 \pm 0,09$ мм), МС + янтарная кислота и спектрального состава «красный, синий» ($8,4 \pm 0,55$ мм). Значения между ними достоверно не отличаются.

На высоту розетки растений земляники значимое влияние оказали спектральный состав света ($p < 0,001$), состав питательной среды ($p < 0,001$) и совместное действие этих двух факторов ($p < 0,01$). Значимо больше высота розетки была при использовании спектрального состава «красный, синий» на всех средах: МС (контроль) ($5,0 \pm 0,06$ см), МС + янтарная кислота ($5,1 \pm 0,09$ см), МС + фолиевая кислота ($5,1 \pm 0,03$ см). При освещении лампами со спектральным составом «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» высота розетки была значимо ниже, чем при освещении спектральным составом «красный, синий» на всех средах: МС (контроль) ($4,2 \pm 0,09$ см), МС + янтарная кислота ($4,4 \pm 0,03$ см), МС + фолиевая кислота ($4,6 \pm 0,15$ см), но значимо выше, чем в контроле: МС (контроль) ($2,9 \pm 0,06$ см), МС + янтарная кислота ($3,0 \pm 0,06$ см), МС + фолиевая кислота ($3,0 \pm 0,23$ см).

Заключение

Таким образом, на рост и развитие растений-регенерантов земляники садовой сорта Азия на этапе укоренения в культуре *in vitro* оказывают влияние спектральный состав света, наличие янтарной и фолиевой кислот в составе питательной среды. Лучшие варианты по комплексу изучаемых признаков: питательная среда МС + фолиевая кислота, спектральные составы света «полный спектр», «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет», «красный, синий».

Проведенные исследования показали, что лучший результат по количеству листьев был отмечен на питательной среде МС + фолиевая кислота при спектральном составе света «красный, синий» ($7,7 \pm 0,20$ шт.), «полный спектр» ($7,5 \pm 0,07$ шт.), «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» ($7,5 \pm 0,29$ шт.). На диаметр рожка значимое влияние оказала среда МС + фолиевая кислота и спектральный состав «полный спектр» ($3,0 \pm 0,58$ мм). Достоверные различия по длине рожка отмечены при использовании среды МС + фолиевая кислота и спектрального состава «полный спектр» ($9,1 \pm 0,09$ мм), МС + янтарная кислота и спектрального состава «красный, синий» ($8,4 \pm 0,55$ мм). Значимо больше высота розетки была при использовании спектрального состава «красный, синий» на всех средах: МС (контроль) ($5,0 \pm 0,06$ см), МС + янтарная кислота ($5,1 \pm 0,09$ см), МС + фолиевая кислота ($5,1 \pm 0,03$ см).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Беседина, Е. Н. Изучение эффективности новых стимуляторов роста различной природы при клональном микроразмножении подвоев яблони серии СК / Е. Н. Беседина, Л. Л. Бунцевич, М. А. Костюк // Плодоводство и ягодоводство России. – 2014. – Т. XXXIX. – С. 29–32.
- 2 Бунцевич, Л. Л. Ростковые реакции эксплантов сливы *in vitro* при использовании препаратов группы янтарной кислоты / Л. Л. Бунцевич, Е. Н. Беседина, М. А. Костюк // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2015 г. – № 36(06). – С. 35–41.
- 3 Винтер, М. А. Совершенствование приемов оздоровления и клонального микроразмножения сливы домашней на основе оценки адаптивного потенциала сортов: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.08 / М. А. Винтер – Краснодар, 2018. – 24 с.
- 4 Влияние янтарной кислоты на фотосинтетическую активность яровой мягкой пшеницы / Н. А. Цыганова [и др.]. // Вестн. Омского ГАУ. Агрономия. – 2019. – № 3. – С. 13–20.
- 5 Воздействие ранее не применявшихся в клональном микроразмножении регуляторов роста на микропобеги сливы *in vitro* / Л. Л. Бунцевич [и др.] // Науч. журн. КубГАУ. – 2016. – № 115. – С. 1039–1046.
- 6 Высоцкий, В. А. Спектральный состав света как регуляторный фактор при клональном микроразмножении ягодных растений / В. А. Высоцкий // Плодоводство и ягодоводство России: сб. науч. работ. – М.: ВСТИСП, 2016. – Т. XXXXIV. – С. 126–130.
- 7 Змушко, А. А. Применение янтарной кислоты в растениеводстве / А. А. Змушко, Т. А. Красинская // Плодоводство: сб. науч. тр. / РУП «Ин-т плодоводства»; редкол.: А. А. Таранов (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Белорус. наука, 2019. – Т. 31. – С. 288–292.
- 8 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.
- 9 Мелехин, А. В. Изучение влияния различных видов освещения на рост и развитие меристемных растений картофеля *in vitro* / А. В. Мелехин, А. Л. Бакунов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17 – № 4(3). – С. 578–580.
- 10 Моргунов, Д. Н. Анализ характеристик светодиодных источников света / Д. Н. Моргунов, С. И. Васильев // Известия Оренбургского гос. аграр. ун-та. – 2016. – № 6 (62). – С. 75–77.
- 11 Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: реальность и перспектива / И. Бахарев [и др.]. // Современные технологии автоматизации. – 2010. – № 2. – С. 76–82.
- 12 Пружинин, Г. А. Применение витаминов группы В на виноградниках Подмоскovie [Электронный ресурс] / Г. А. Пружинин, А. И. Сопин // Московское общество испытателей природы – Режим доступа: <http://sad-moip.msu.ru/sad-moip/sad-moip.ru/useful-facts/pruzhinin-g-a-sopin-a-i-primenenie-vitaminov-gruppy-v-na-vinogra.htm> – Дата доступа: 9.02.2025.
- 13 Тертышная, Ю. В. Влияние спектрального состава света на развитие сельскохозяйственных культур / Ю. В. Тертышная, Н. С. Левина // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2016. – № 5. – С. 24–29.
- 14 Федоренко, М. П. Влияние LED-освещения на рост растений *Vaccinium corymbosum* L. *ex vitro* / М. П. Федоренко, А. А. Волоотович // Сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф. «Биотехнология: достижения и перспективы развития». – Пинск, 2017. – С. 43–45.
- 15 Шпак, М. Ю. Особенности развития растений-регенерантов земляники садовой (*Fragaria* × *Ananassa* Duch.) в культуре *in vitro* при различном освещении / М. Ю. Шпак, Т. В. Никонович // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад.: науч.-методич. журн. – 2015. – № 3. – С. 73–78.