

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА, ЯНТАРНОЙ И ФОЛИЕВОЙ КИСЛОТ НА УКОРЕНЕНИЕ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ (*FRAGARIA* × *ANANASSA* DUCH.) СОРТА АЗИЯ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*

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

РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси»,
ул. Урбановича, 5, г. Пружаны, Брестская область, 224145, Беларусь,
e-mail: elena.v.poukh@yandex.by

АННОТАЦИЯ

Исследования проведены в лабораторных условиях в отделе плодоводства РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси» в 2021–2022 гг. Объекты исследований: растения-регенеранты земляники садовой сорта Азия. В ходе исследований изучено влияние спектрального состава света, янтарной и фолиевой кислот на укоренение земляники садовой в культуре *in vitro*.

На этапе микроразмножения в условиях *in vitro* наибольшие значения доли укорененных растений-регенерантов отмечали при освещении спектральным составом «красный, синий, оранжевый» при использовании среды МС + янтарная (37,4 %) и фолиевая кислота (51,5 %). На этапе укоренения в условиях *in vitro* наибольшие показатели количества корней отмечены на среде МС + фолиевая кислота при спектральном составе света «полный спектр» ($10,5 \pm 0,46$) шт.), «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» ($10,7 \pm 0,69$) шт.). Максимальный показатель средней длины корней ($3,8 \pm 0,12$ см) отмечали при использовании среды МС + фолиевая кислота и спектрального состава «красный, синий, оранжевый». Добавление в среду МС янтарной и фолиевой кислот способствовало увеличению доли укоренившихся растений-регенерантов земляники садовой сорта Азия до $100,0 \pm 0,00$ %.

Ключевые слова: земляника садовая, спектральный состав света, янтарная кислота, фолиевая кислота, укоренение, культура *in vitro*, Беларусь.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях *in vitro* спектральный состав света оказывает большое влияние на процессы роста, регенерации и ризогенеза растений [1]. В связи с этим отмечается избирательная реакция микропобегов земляники при микроразмножении на освещение различным спектральным составом, благоприятным для роста и развития микропобегов [2, 3].

По данным Л. В. Баулиной, освещение красным светом растений земляники сортов Амулет и Профьюжен на этапах микроразмножения и укоренения *in vitro* способствует увеличению числа генеративных образований в поле [4]. В то же время освещение синим светом растений земляники сорта Пурпуровая на этапах микроразмножения и укоренения в условиях *in vitro* сдерживает появление генеративных образований в полевых условиях.

Исследования, проводимые М. Г. Марковой и Е. Н. Сомовой, показали, что в условиях *ex vitro* регуляторы роста и экспериментальные светодиодные фитооблучатели оказывают влияние на адаптацию укорененных микрочеренков земляники садовой сорта Корона. Наиболее эффективным фактором оказалось использование экспериментального светодиодного фитооблучателя с меняющимся спектром: увеличивались площадь листовой поверхности, высота розеток и количество нормально развитых листьев у микрорастений земляники [1].

В Барановичском государственном университете было изучено влияние света искусственных диодов различного спектрального состава света на биометрические показатели растений-регенерантов земляники садовой ремонтантного сорта Мерлан. В результате чего установлено положительное влияние синего спектра света на процесс ризогенеза как в условиях *in vitro*, так и *ex vitro*. Увеличение доли красного света положительно влияет на накопление биомассы надземной части растений-регенерантов [5–7].

Помимо светового режима, большое значение для роста и развития оздоровленных растений в условиях *in vitro* оказывает наличие в составе питательных средств биологически активных веществ (гормонов, витаминов и т. д.), способствующих стимуляции деления клеток, повышению стрессоустойчивости. В научной литературе имеются данные о положительном влиянии

на растения, размножаемые в культуре тканей, органических кислот (фолиевая, янтарная, салициловая).

Применение биологически активных веществ в растениеводстве при предпосевной обработке семян повышает выносливость к засухе, холоду, перепадам температуры и иммунитет к патогенам [8]. В частности, предпосевная обработка семян зерновых культур раствором янтарной кислоты повышает всхожесть, увеличивает число продуктивных стеблей, зерен в колосе, массу зерна [9]. Применение янтарной кислоты в качестве стимулятора роста при размножении облепихи зелеными черенками обеспечивает увеличение выхода саженцев и повышение их качества [10]. Она также используется в культуре *in vitro*: на этапах пролиферации, укоренения и адаптации к условиям *ex vitro* [11]. Установлено положительное влияние соли янтарной кислоты (сукцинат натрия) на эффективность ризогенеза сливы [12].

Фолиевая кислота помогает растениям в поддержании обмена веществ, играет важнейшую роль при формировании урожайности и улучшении качественных показателей урожая [13].

Цель исследований – выявление влияния спектрального состава, янтарной и фолиевой кислот в составе питательной среды на морфогенез растений-регенерантов земляники садовой сорта Азия на этапе ризогенеза в условиях *in vitro*.

ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работу проводили в отделе плодоводства РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси» в 2021–2022 гг. в лабораторных условиях. Объекты исследований – растения-регенеранты земляники садовой сорта Азия.

При изучении режимов освещения применяли 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; фитосветильник светодиодный (красный – 610–650 нм, синий – 450–465 нм, оранжевый – 610–620 нм), 18 Вт.

В качестве регуляторов роста применяли янтарную и фолиевую кислоты в концентрации 4,0 мг/л [14–16]. На этапе укоренения в условиях *in vitro* растений-регенерантов использовали питательные среды в следующих вариантах: 1) среда 1/2 Мурасиге и Скуга (МС) (контроль) с содержанием 0,5 мг/л индолилмасляной кислоты (ИМК), 0,1 мг/л гибберелловой кислоты (ГК₃); 2) среда 1/2 МС + янтарная кислота; 3) среда 1/2 МС + фолиевая кислота.

Для оценки эффективности влияния спектрального состава света, янтарной и фолиевой кислот в составе питательной среды на укоренение растений-регенерантов земляники садовой в культуре *in vitro* были изучены следующие показатели: доля укоренения (%), среднее количество корней (шт.), средняя длина корней (см).

Растения культивировали в течение 3–4 недель при температуре +21...+23 °С, освещенности 2,5–3,5 тыс. лк, фотопериод составил 16/8 ч.

Статистическую обработку проводили, используя ANOVA, двухфакторный дисперсионный анализ, критерий Дункана при $p < 0,05$ для сравнения средних значений в программе STATISTICA 10.0. В табл. 2 данные приведены в виде «среднее значение ± стандартная ошибка».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении влияния спектрального состава и состава питательной среды на рост и развитие земляники садовой в культуре *in vitro* отмечено, что микрорастения земляники садовой способны укореняться еще на этапе микроразмножения. Так, на 5-м пассаже при использовании среды МС (контроль) получено от 19,3 до 24,2 % укорененных пробирочных растений. Наибольшее количество укорененных растений получено при освещении спектральным составом «красный, синий, оранжевый» (24,2 %) (табл. 1).

Таблица 1. Влияние спектрального состава и состава питательной среды на укоренение в условиях *in vitro* микрорастений земляники садовой сорта Азия на 5-м пассаже этапа микроразмножения

Спектральный состав (фактор А)	Состав питательной среды (фактор В)		
	МС (контроль)	МС + янтарная кислота	МС + фолиевая кислота
	Доля укорененных растений-регенерантов, %		
Белый свет (контроль)	23,8	17,7	31,8
Полный спектр	19,3	26,5	26,0
Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	19,9	29,0	33,5
Красный, синий	21,1	27,3	30,6
Красный, синий, оранжевый	24,2	37,4	51,5
Среднее	21,7	27,6	34,7

Таблица 2. Влияние состава питательной среды и спектрального состава на рост и развитие корневой системы земляники садовой сорта Азия на этапе укоренения в условиях *in vitro*

Спектральный состав (фактор А)	Состав питательной среды (фактор В)		
	МС (контроль)	МС + янтарная кислота	МС + фолиевая кислота
Среднее количество корней, шт.			
Белый свет (контроль)	3,7 ± 0,20 ^e	8,4 ± 0,15 ^{cd}	7,9 ± 0,32 ^d
Полный спектр	3,8 ± 0,52 ^e	8,0 ± 0,69 ^d	10,5 ± 0,46 ^a
Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	3,3 ± 0,23 ^e	9,5 ± 0,37 ^{abc}	10,7 ± 0,69 ^a
Красный, синий	4,1 ± 0,03 ^e	9,4 ± 0,87 ^{abc}	9,8 ± 0,06 ^{ab}
Красный, синий, оранжевый	3,6 ± 0,03 ^e	8,2 ± 0,26 ^{cd}	9,0 ± 0,17 ^{bcd}
Средняя длина корней, см			
Белый свет (контроль)	2,5 ± 0,17 ^{bcd}	2,9 ± 0,15 ^{bc}	2,4 ± 0,27 ^{bcd}
Полный спектр	2,0 ± 0,55 ^{def}	2,8 ± 0,15 ^{bc}	2,9 ± 0,03 ^b
Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	1,8 ± 0,06 ^{ef}	2,4 ± 0,03 ^{bcd}	2,6 ± 0,12 ^{bcd}
Красный, синий	1,7 ± 0,29 ^f	3,0 ± 0,12 ^b	2,5 ± 0,25 ^{bcd}
Красный, синий, оранжевый	2,2 ± 0,09 ^{cdef}	2,9 ± 0,20 ^{bc}	3,8 ± 0,12 ^a
Доля укорененных растений-регенерантов, %			
Белый свет (контроль)	65,0 ± 8,66 ^{bc}	91,4 ± 0,52 ^a	96,9 ± 1,79 ^a
Полный спектр	55,0 ± 20,21 ^c	88,9 ± 6,41 ^{ab}	93,4 ± 3,84 ^a
Красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет	45,0 ± 8,66 ^c	93,4 ± 1,41 ^a	96,2 ± 2,22 ^a
Красный, синий	45,0 ± 8,66 ^c	96,3 ± 2,14 ^a	86,2 ± 5,37 ^{ab}
Красный, синий, оранжевый	65,0 ± 14,43 ^{bc}	88,8 ± 2,39 ^{ab}	100,0 ± 0,00 ^a

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

Доля укоренившихся микрорастений при использовании среды МС + янтарная кислота в зависимости от спектрального состава варьировала от 17,7 до 37,4 %. Наибольшее их значение отмечалось при освещении спектральным составом «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» (29,0 %) и «красный, синий, оранжевый» (37,4 %). Доля укоренившихся микрорастений при использовании среды МС + фолиевая кислота в зависимости от спектрального состава варьировала от 26,0 до 51,5 %. Наибольшее значение отмечалось при освещении спектральным составом «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» (33,5 %) и «красный, синий, оранжевый» (51,5 %).

Статистическая обработка данных позволила выявить зависимость количества корней земляники садовой сорта Азия от спектрального состава ($p < 0,01$), состава питательной среды ($p < 0,001$) и совместного действия этих двух факторов ($p < 0,05$) (табл. 2). Наибольшие показатели формирования корней отмечены на среде МС + фолиевая кислота и при спектральном составе света «полный спектр» – $(10,5 \pm 0,46)$ шт., «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» – $(10,7 \pm 0,69)$ шт. (табл. 2).

Микрорастения земляники садовой, выращенные на среде МС (контроль), имели среднюю длину корней от $(1,7 \pm 0,29)$ до $(2,5 \pm 0,17)$ см. Максимальное значение средней длины корней растений-регенерантов $((3,8 \pm 0,12)$ см) отмечено при использовании среды МС + фолиевая кислота и спектрального состава «красный, синий, оранжевый».

На среде МС (контроль) доля укорененных растений-регенерантов при изучаемых спектральных составах колебалась от $(45,0 \pm 8,66)$ до $(65,0 \pm 14,43)$ % и была значимо ниже вариантов с добавлением в среду янтарной и фолиевой кислот. При добавлении в среду МС янтарной кислоты отмечено увеличение доли укорененных микрорастений до $(96,3 \pm 2,14)$ %, фолиевой кислоты – до $(100,0 \pm 0,00)$ %.

ВЫВОДЫ

На этапе микроразмножения в условиях *in vitro* наибольшие значения доли укорененных растений-регенерантов отмечали при освещении спектральным составом «красный, синий, оранжевый» при использовании среды МС + янтарная (37,4 %) и фолиевая кислота (51,5 %).

На этапе укоренения в условиях *in vitro* максимальное количество корней было отмечено на среде МС + фолиевая кислота при спектральных составах света «полный спектр» $((10,5 \pm 0,46)$ шт.) и «красный, синий, инфракрасный, ультрафиолет» $((10,7 \pm 0,69)$ шт.). Максимальный показатель средней длины корней $((3,8 \pm 0,12)$ см) отмечался при использовании среды МС + фолиевая кислота и спектрального состава «красный, синий, оранжевый».

Добавление в среду МС янтарной и фолиевой кислоты способствовало увеличению доли укоренившихся растений-регенерантов земляники садовой по сравнению с контролем: доля укорененных растений-регенерантов варьировала от $(86,2 \pm 5,37)$ до $(100 \pm 0,00)$ %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Маркова, М. Г. Влияние питательной среды и спектрального состава света на размножение земляники *in vitro* / М. Г. Маркова, Е. Н. Сомова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – Т. 63, № 2. – С. 35–41.
2. Высоцкий, В. А. Спектральный состав света как регуляторный фактор при клональном микроразмножении ягодных растений / В. А. Высоцкий // Плодоводство и ягодоводство России. – 2016. – Т. XXXIV. – С. 126–130.
3. Моргунов, Д. Н. Анализ характеристик светодиодных источников света / Д. Н. Моргунов, С. И. Васильев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 6 (62). – С. 75–77.
4. 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 / Баулина Любовь Владимировна ; Рос. гос. аграр. ун-т. – М., 2012. – 26 с.
5. Мороз, Д. С. Влияние света светодиодных осветителей различного спектрального состава на адаптацию растений-регенерантов земляники садовой *Fragaria × ananassa* Duch. к нестерильным условиям / Д. С. Мороз, М. Ю. Шпак, Е. А. Петровская // Перспективы развития науки в современном мире : материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Уфа, 7 марта 2019 г.) / редкол.: И. А. Соловьев [и др.]. – Уфа, 2019. – С. 101–107.
6. Особенности адаптации меристемных растений земляники садовой *Fragaria × ananassa* Duch. в условиях светодиодного освещения / Д. С. Мороз, М. Ю. Шпак, Е. А. Петровская, С. Е. Медведик // Вестник БарГУ. Серия «Биологические науки (общая биология). Сельскохозяйственные науки (агрономия)». – 2019. – № 7. – С. 73–82.
7. Шпак, М. Ю. Изучение влияния света искусственных диодов различного спектрального состава на ризоге-нез 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. сообщество БарГУ ; редкол.: В. В. Климук (гл. ред.) [и др.]. – Барановичи, 2017. – С. 174–175.
8. Поликсенова, В. Д. Индуцированная устойчивость растений к патогенам и абиотическим стрессовым факторам (на примере томата) / В. Д. Поликсенова // Вестник Белорусского государственного университета. Серия 2, Химия. Биология. География. – 2009. – № 1. – С. 48–60.

9. Дроздов, Н. А. Применение янтарной кислоты на посевах зерновых / Н. А. Дроздов, И. М. Соколовский // Бюллетень Главного ботанического сада. – 1970. – Вып. 77. – С. 49–53.
10. Гущина, Е. Н. Использование янтарной кислоты в качестве стимулятора роста при выращивании саженцев облепихи / Е. Н. Гущина, Л. Д. Шаманская // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 7. – С. 12–14.
11. Змушко, А. А. Применение янтарной кислоты в растениеводстве / А. А. Змушко, Т. А. Красинская // Плодоводство : сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т плодоводства ; редкол.: А. А. Таранов (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2019. – Т. 31. – С. 288–292.
12. 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 / Винтер Марина Александровна ; Сев.-Кавк. федер. науч. центр садоводства, виноградарства, виноделия. – Краснодар, 2018. – 24 с.
13. Пружинин, Г. А. Применение витаминов группы В на виноградниках Подмосковья / Г. А. Пружинин, А. И. Сопин // Московское общество испытателей природы. – URL: <https://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 обращения: 09.02.2025).
14. 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.
15. Бунцевич, Л. Л. Ростовые 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. – № 36 (06). – С. 35–41.
16. Воздействие ранее не применявшихся в клональном микроразмножении регуляторов роста на микропобеги сливы *in vitro* / Л. Л. Бунцевич, А. Т. Киян, Е. Н. Беседина, М. А. Костюк // Научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 115. – С. 1039–1046.

**EFFECT OF LIGHT SPECTRAL COMPOSITION, SUCCINIC AND FOLIC ACIDS
ON ROOTING OF GARDEN STRAWBERRY (*FRAGARIA* × *ANANASSA* DUCH.)
CULTIVAR ASIA IN *IN VITRO* CULTURE**

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

Abstract

The study was conducted under laboratory conditions in the Department of Fruit Growing at the RUE ‘Brest Regional Agricultural Experimental Station of the NAS of Belarus’ in 2021–2022. The research objects were regenerant plants of the garden strawberry cultivar Asia. The effect of light spectral composition, as well as the addition of succinic and folic acids, on the rooting of strawberry in *in vitro* culture was investigated.

At the micropropagation stage, the highest percentage of rooted regenerant plants was observed under lighting with a red-blue-orange spectral combination when using MS medium supplemented with succinic acid (37.4 %) and folic acid (51.5 %). At the rooting stage, the highest number of roots was recorded on MS medium with folic acid under ‘full-spectrum’ light ((10.5 ± 0.46) roots) and under a ‘red, blue, infrared, ultraviolet’ light composition ((10.7 ± 0.69) roots). The maximum average root length ((3.8 ± 0.12) cm) was obtained using MS medium with folic acid under red-blue-orange light.

The addition of succinic and folic acids to the MS medium increased the rooting rate of *Fragaria* × *ananassa* cv. Asia regenerants up to (100 ± 0.00) %.

Keywords: garden strawberry, light spectral composition, succinic acid, folic acid, rooting, *in vitro* culture, Belarus.

Поступила в редакцию 03.03.2025