

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-520-528>
УДК 57.082.261:634.7

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Влияние освещения на ризогенез ягодных растений при клональном микроразмножении

С. С. Макаров^{1,*}, С. А. Родин¹, И. Б. Кузнецова²,
А. И. Чудецкий¹, С. Ю. Цареградская¹



¹ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, Пушкино, Россия

² Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваново, Россия

Поступила в редакцию: 28.04.2021

Принята после рецензирования: 20.05.2021

Принята в печать: 15.07.2021



*e-mail: makarov_serg44@mail.ru

© С. С. Макаров, С. А. Родин, И. Б. Кузнецова, А. И. Чудецкий, С. Ю. Цареградская, 2021

Аннотация.

Введение. Спрос на продукцию лесных ягодных растений с высокой пищевой и лекарственной ценностью, которые активно используются в пищевой промышленности и медицине, возрастает. Клональное микроразмножение является наиболее эффективным методом для получения большого количества высококачественного посадочного материала. Использование светодиодов для освещения растений при клональном микроразмножении является наиболее актуальным. Цель – изучить влияние освещения различного спектрального диапазона на процесс корнеобразования лесных ягодных растений в культуре *in vitro*.

Объекты и методы исследования. Растения-регенеранты различных сортов и перспективных форм голубики полувысокорослой, княженики арктической, клюквы крупноплодной, клюквы болотной, брусники обыкновенной и красники. На этапе «укоренение *in vitro*» изучалось влияние типа освещения на рост и развитие корневой системы лесных ягодных растений *in vitro* при использовании белых люминесцентных ламп, светодиодных ламп белого спектра и светодиодных ламп с комбинацией белого, красного и синего спектров.

Результаты и их обсуждение. Наибольшее количество (3,4–14,6 шт.) и максимальная суммарная длина (10,0–156,9 см) корней растений голубики, княженики, клюквы, брусники и красники на этапе укоренения *in vitro* отмечены при освещении надземной части растений светодиодными лампами с комбинацией белого, красного и синего спектров. Это в 1,1–2,8 и 2,0–4,5 раза больше, чем при освещении светодиодными лампами белого спектра; в 2,3–7,0 и 3,3–14,9 раза больше, чем при освещении люминесцентными лампами. Существенных различий между биометрическими показателями, в зависимости от сорта или формы, не отмечено.

Выводы. Использование светодиодных ламп положительно воздействует на процесс ризогенеза лесных ягодных растений при клональном микроразмножении в сравнении с люминесцентными лампами, а применение комбинации белого, синего и красного спектров способствует значительному увеличению биометрических показателей растений на этапе укоренения *in vitro*.

Ключевые слова. Клональное микроразмножение, *in vitro*, корнеобразование, голубика, княженика, клюква, брусника, красника, светодиодные лампы, спектр

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания «Проведение прикладных научных исследований» Федерального агентства лесного хозяйства Российской Федерации (Приказ Рослесхоза от 25.12.2018 №1061).

Для цитирования: Влияние освещения на ризогенез ягодных растений при клональном микроразмножении / С. С. Макаров [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 520–528. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-520-528>.

Original article

Available online at <http://fptt.ru/eng>

Effect of Light on Rhizogenesis of Forest Berry Plants during Clonal Micropropagation

Sergey S. Makarov^{1,*}, Sergey A. Rodin¹, Irina B. Kuznetsova²,
Anton I. Chudetsky¹, Svetlana Yu. Tsaregradskaya¹

¹ All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Pushkino, Russia

² Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russia

Received: April 28, 2021

Accepted in revised form: May 20, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021



*e-mail: makarov_serg44@mail.ru

© S.S. Makarov, S.A. Rodin, I.B. Kuznetsova, A.I. Chudetsky, S.Yu. Tsaregradskaya, 2021

Abstract.

Introduction. Forest berry plants are popular on the food market and in pharmacy for their high nutritional and medicinal value. Plantations of forest berry plants can proliferate on unused lands, including depleted peatlands. Clonal micropropagation is the most effective method for obtaining large quantities of high quality planting material. Light-emitting diodes are highly effective for clonal micropropagation. The research objective was to study the effect of different spectral ranges on the process of root formation of forest berry plants *in vitro*.

Study objects and methods. The research featured regenerant plants of half-highbush blueberry, arctic bramble, American cranberry, European cranberry, lingonberry, and Kamchatka bilberry of different cultivars. A set of experiments made it possible to study the effect of lighting type on the growth and development of the root system of forest berry plants *in vitro* using white fluorescent lamps, white spectrum LED lamps, and LED lamps with a combination of white, red, and blue spectra at the *in vitro* rooting stage of clonal micropropagation.

Results and its discussion. The largest number (3.4–14.6 pcs.) and the maximum total length (10.0–156.9 cm) of roots were observed under LED lamps with a combination of white, red, and blue spectra. The effect was by 1.1–2.8 and 2.0–4.5 times higher than in the case of white-spectrum LED lamps, and by 2.3–7.0 and 3.3–14.9 times than in the case of fluorescent lamps. Variety and shape proved to have no significant effect on biometric indicators.

Conclusion. LED lamps had a positive effect on the process of rhizogenesis of forest berry plants during clonal micropropagation. They appeared to be more effective than fluorescent lamps. The combination of white, blue, and red spectra increased the biometric parameters of plants at the stage of *in vitro* rooting.

Keywords. Clonal micropropagation, *in vitro*, root formation blueberry, arctic bramble, cranberry, lingonberry, Kamchatka bilberry, LED lamps, range

Funding. The research was part of the State Task for Applied Scientific Research, Order of the Federal Forestry Agency of the Russian Federation No. 1061 (December 25, 2018).

For citation: Makarov SS, Rodin SA, Kuznetsova IB, Chudetsky AI, Tsaregradskaya SYu. Effect of Light on Rhizogenesis of Forest Berry Plants during Clonal Micropropagation. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):520–528. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-520-528>.

Введение

В настоящее время во всем мире возрастает спрос на продукцию лесных ягодных растений, обладающих высокой пищевой и лекарственной ценностью, таких как клюква, голубика, брусника, черника, княженика, морошка, красника и др. Ягоды активно используются в пищевой промышленности и могут употребляться как в свежем, так и в переработанном виде (соки, компоты, морсы, сиропы, чай, варенья, джемы, добавки к мучным, кондитерским, консервированным изделиям и т. д.). Плоды и листья большинства лесных ягодных растений содержат целый ряд витаминов (А, В₁, В₂, В₅, В₆, С, РР, К₁), а также микро- и микроэлементы, сахара, антоцианы, лейкоантоцианы, катехины, пектины, дубильные вещества, органические кислоты и другие соединения.

Голубика особенно богата веществами Р-витаминного действия, участвующими в окислительно-восстановительных процессах, регулирующими работу желез внутренней секреции, обладающими противовоспалительным и противоопухолевым

действием. В ягодах княженики содержится большое количество эллагитанина, препятствующего развитию вредных кишечных бактерий. Экстракты плодов клюквы оказывают антисептическое, гипотензивное и противогинготное действие и обеспечивают проявление гемостатического эффекта, повышают уровень гемоглобина, поддерживают работу сердечно-сосудистой системы. Брусника содержит арбутин, урсоловую кислоту и широкий спектр других биологически активных веществ, повышающих ее лекарственную ценность. В плодах красники обнаружены вещества, обладающие гепатопротекторным действием.

Обладая антиоксидантным, антибактериальным действием и другими лечебными свойствами, данные ягодные растения могут широко применяться в медицине при лечении множества заболеваний (атеросклероз, авитаминоз, гипертония, ревматизм, почечнокаменная болезнь, анемия, острые респираторные и простудные заболевания, бронхиальная астма, стоматиты, различные

заболевания печени, желудка, мочеполовой системы, кожные болезни и др.). Кроме того, экстракты данных растений применяют в косметологии, народной медицине, а декоративные посадки некоторых ягодных культур успешно используются в ландшафтном дизайне [1–12].

В связи с усилением антропогенного влияния естественные запасы данных видов, особенно имеющих ограниченный ареал произрастания (а в некоторых районах являющихся редкими и исчезающими), резко снижаются. Особое значение приобретает выращивание посадочного материала хозяйственно ценных лесных ягодных растений для культивирования их в промышленных масштабах. Создание плантаций востребованных видов ягодников позволит не только существенно восполнить их ресурсы, увеличить биологическое разнообразие природной среды и удовлетворить спрос потребителей, но также предотвратить разрушение экосистем при рекультивации данными посадками неиспользуемых, вышедших из промышленного оборота земель. В том числе выработанных торфяных месторождений, которые имеют наиболее подходящие условия для произрастания многих таежных и болотных видов [13].

Для получения большого количества высококачественного посадочного материала ягодных растений наиболее целесообразным является использование современных биотехнологических методов размножения с помощью культуры клеток и тканей. Например, клональное микроразмножение. Данный метод позволяет в короткие сроки и круглогодично получать значительное количество оздоровленных растений (включая виды, плохо размножаемые с помощью традиционных способов), а также является менее трудозатратным и экономически эффективным [14].

Выращиванием перспективных сортов и форм хозяйственно ценных лесных ягодных растений (голубика узколистная (*Vaccinium angustifolium* Ait.), голубика полувысокорослая (*Vaccinium corymbosum* L. × *Vaccinium angustifolium* Ait.), княженика арктическая (*Rubus arcticus* L.), клюква крупноплодная (*Oxycoccus macrocarpus* Pers.), клюква болотная (*Oxycoccus palustris* Pers.), брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), красника (*Vaccinium praestans* Lamb.), жимолость съедобная (*Lonicera edulis* Turcz.), морозника приземистая (*Rubus chamaemorus* L.) и др.) в культуре *in vitro* с 2015 г. занимаются в филиале ФБУ ВНИИЛМ «Центрально-европейская лесная опытная станция» [15–18].

Свет является важнейшим условием для жизнедеятельности растений, дающим энергию для процесса фотосинтеза. При подборе оптимальных источников освещения для растений как в научных исследованиях, так и при

работе на сельскохозяйственных предприятиях предпочтительнее становится использование белых светодиодов с излучением, содержащим компоненты всех основных полос в диапазоне фотосинтетически активной радиации (ФАР). При этом спектральный состав по-разному оказывает влияние на рост и развитие растений, а различные участки спектрального диапазона имеют разное воздействие на регуляцию морфогенетических и физиологических процессов в растениях. Кроме того, применение белых светодиодов не ограничивается только белым спектром. Их можно использовать в комбинациях с узкополосными красными и синими светодиодами [19–21]. В связи с тем, что на сегодняшний день не так много исследований, посвященных изучению влияния типа освещения на органогенез лесных ягодных растений в культуре *in vitro*, эксперименты в данном направлении представляют как теоретическую, так и практическую ценность.

Цель исследования – изучение влияния типа освещения на процесс ризогенеза лесных ягодных растений при клональном микроразмножении.

Объекты и методы исследования

Исследования по выращиванию лесных ягодных растений в культуре *in vitro* проводили в лаборатории клонального микроразмножения растений на базе филиала ФБУ ВНИИЛМ «Центрально-европейская лесная опытная станция» в 2016–2020 гг.

В качестве объектов исследования использовали растения голубики полувысокорослой (сорт «Нортблю» и гибридная форма 23-1-11), княженики арктической (сорт «Анна» и гибридная форма К-1), клюквы крупноплодной (сорт «Бен Лир» и гибридная форма 1-23-3), клюквы болотной (сорт «Дар Костромь» и гибридная форма 1-15-635), брусники обыкновенной (сорта «Рубин» и «Костромская розовая»), красники (Курильская и Сахалинская формы).

Растения голубики, клюквы и красники культивировали на питательной среде WPM (Wood Plant Medium), княженики – на питательной среде MS (Мурасиге-Скуга), брусники – на питательной среде Андерсона в условиях световой комнаты при температуре от +23 до +25 °С, влажности 75–80 % и фотопериоде 16/8 ч. На этапе «собственно микроразмножение» применяли регуляторы роста цитокининовой группы: при выращивании голубики, клюквы, брусники и красники – 2-изопенталаденин (2ip) в концентрациях 1,0–5,0 мл/л; при выращивании княженики – 6-бензиламинопурил (6-БАП) в концентрации 0,5 мл/л. На этапе укоренения *in vitro* использовали регуляторы роста ауксиновой группы. При выращивании голубики, клюквы, брусники и красники – индолилуксусная кислота (ИУК) в концентрации 0,5–1,0 мл/л; при выращивании княженики – индолилмасляная кислота (ИМК) в концентрации 0,5 мл/л.

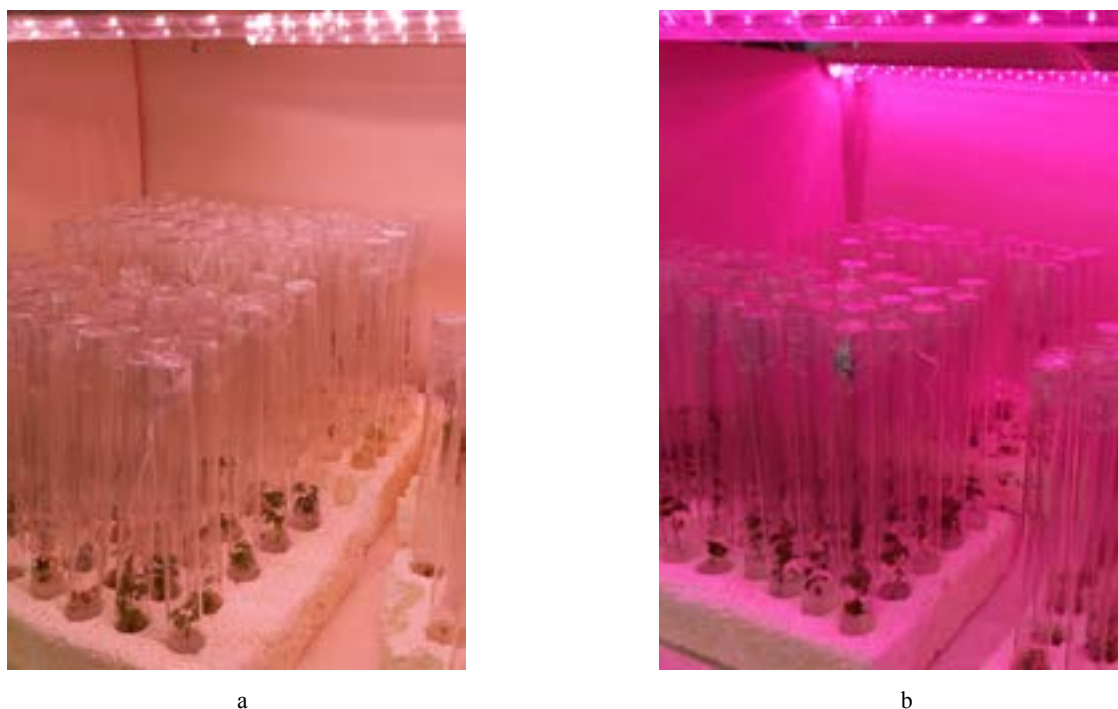


Рисунок 1. Освещение регенерантов лесных ягодных растений светодиодными лампами:
а – белого спектра; б – с комбинацией белого, красного и синего спектров

Figure 1. Forest berry plant regenerants under LED lamps: a – white spectrum; b – combination of white, red, and blue spectra

При изучении влияния света на рост и развитие размножаемых растений использовали лампы различного спектрального состава: 1) ЛБ – люминесцентные лампы белого цвета ($\lambda = 600$ нм); 2) СД-Б – светодиодные лампы белого спектра ($\lambda = 653$ нм); 3) СД-Б+К+С – светодиодные лампы с комбинацией белого ($\lambda = 653$ нм), красного ($\lambda = 670$ нм) и синего ($\lambda = 455$ нм) спектров (рис. 1). Пробирки с растениями-регенерантами размещали в штативах из пенопласта, закрывающих от света корневую систему, и подвергали постоянному освещению. Учитывали количество, среднюю и суммарную длину корней в расчете на одно растение. Опыты проводили в 10-кратной биологической и 2-кратной аналитической повторностях.

Статистическую обработку данных проводили при помощи программного обеспечения Microsoft Office 2016 и AGROS v.2.11. Применяли дисперсионный двухфакторный анализ, где фактор А – сорт или форма, фактор В – тип освещения. Достоверность различий между средними данными вариантов опыта оценивали с помощью наименьшей существенной разности для 5 %-го уровня значимости ($НСР_{05}$).

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных экспериментальных исследований выявлено, что при клональном

микроразмножении на этапе укоренения *in vitro* наибольшее количество корней (в среднем 9,9 шт.) голубики полувысокорослой формировалось при освещении надземной части лампами СД-Б+К+С. Оно было в 2,8 раза больше, чем при освещении лампами СД-Б, и в 4,5 раза больше, чем при освещении ЛБ (табл. 1).

Наибольшая суммарная длина (в среднем 114,8 см) корней голубики была отмечена также при освещении надземной части лампами СД-Б+К+С и была в 7 раз больше, чем при освещении СД-Б, и в 14,9 раза больше, чем при освещении лампами ЛБ (табл. 2). Существенных различий биометрических показателей по сортам не выявлено.

Наибольшее количество корней (в среднем 13,4 шт.) растений-регенерантов княженики арктической было отмечено при использовании ламп СД-Б+К+С. Оно было в 2,2 раза больше, чем в варианте освещения лампами СД-Б, и в 4,5 раза больше, чем при освещении ЛБ (табл. 3). Количество корней, в зависимости от сорта, не имело значительных различий.

Суммарная длина корней растений княженики также была максимальной (в среднем 163,8 см) при использовании ламп СД-Б+К+С, что в 3,3 и 10,1 раза больше, чем при освещении лампами СД-Б и ЛБ соответственно (табл. 4).

Таблица 1. Количество корней голубики полувывсокорослой в зависимости от сорта и условий освещения надземной части

Table 1. Number of roots of *Vaccinium corymbosum* L. × *Vaccinium angustifolium* Ait., depending on variety and light

Сорт	Освещение			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
«Нортблю», шт	2,1	3,4	9,7	5,1
Гибридная форма 23-1-11, шт	2,2	3,7	10,0	5,3
Среднее, шт	2,2	3,6	9,9	–
НСР ₀₅ фактор А = 1,20, фактор В = 1,03, общ. = 2,02				

Таблица 2. Суммарная длина корней голубики полувывсокорослой в зависимости от сорта и условий освещения надземной части

Table 2. Total length of roots of *Vaccinium corymbosum* L. × *Vaccinium angustifolium* Ait., depending on variety and light

Сорт	Освещение			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
«Нортблю», см	8,1	16,3	115,5	46,6
Гибридная форма 23-1-11, см	7,3	16,4	114,1	45,9
Среднее, см	7,7	16,4	114,8	–
НСР ₀₅ фактор А = 3,85, фактор В = 4,10, общ. = 3,91				

Таблица 3. Количество корней княженики арктической в зависимости от сорта и типа освещения надземной части

Table 3. Number of roots of *Rubus arcticus* L., depending on variety and light

Сорт	Освещение			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
«Анна», шт	2,8	6,5	12,7	7,3
Гибридная форма К-1, шт	3,2	5,7	14,0	7,6
Среднее, шт	3,0	6,1	13,4	–
НСР ₀₅ фактор А = 1,40, фактор В = 1,13, общ. = 2,10				

Таблица 4. Суммарная длина корней княженики арктической в зависимости от сорта и типа освещения надземной части

Table 4. Total length of the roots of *Rubus arcticus* L., depending on variety and light

Сорт	Освещение			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
«Анна», см	13,6	52,6	139,7	68,6
Гибридная форма К-1, см	17,1	48,2	187,9	84,4
Среднее, см	15,4	50,4	163,8	–
НСР ₀₅ фактор А = 3,95, фактор В = 4,30, общ. = 6,81				



Рисунок 2. Корнеобразование *in vitro* растений княженики арктической сорта «Анна» (1) и гибридной формы К-1 (2) при освещении лампами: а – ЛБ; б – СД-Б; в – СД-Б+К+С

Figure 2. Root formation in vitro of *Rubus arcticus* L. cultivar Anna (1) and hybrid K-1 (2) under a – white fluorescent lamps; b – white spectrum LED lamps; c – LED lamps with a combination of white, red, and blue spectra

При этом суммарная длина корней у растений гибридной формы К-1 имела в 1,2 раза больше значение, чем у сорта «Анна» (рис. 2).

При укоренении растений-регенерантов клюквы крупноплодной и клюквы болотной формирование

наибольшего количества корней (в среднем 13,9–14,6 шт.) наблюдалось при освещении лампами СД-Б+К+С. Это в 2,1–2,3 больше, чем при освещении СД-Б, и в 2,4–2,6 раза больше, чем при освещении ЛБ (табл. 5). Различия по количеству корней, в

Таблица 5. Количество корней клюквы в зависимости от сорта и спектрального диапазона освещения надземной части

Table 5. Number of roots of *Oxycoccus*, depending on variety and spectrum

Сорт	Освещение			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
Клюква крупноплодная				
«Бен Лир», шт	6,0	7,1	13,1	8,7
Гибридная форма 1-23-3, шт	6,3	6,9	16,0	9,7
Среднее, шт	6,2	7,0	14,6	–
НСР ₀₅ фактор А = 1,91, фактор В = 1,72, общ. = 2,53				
Клюква болотная				
«Дар Костромы», шт	5,9	6,5	12,3	8,2
Гибридная форма 1-15-635, шт	4,8	5,7	15,4	8,6
Среднее, шт	5,4	6,1	13,9	–
НСР ₀₅ фактор А = 1,49, фактор В = 1,31, общ. = 2,21				

Таблица 7. Количество корней брусники обыкновенной в зависимости от сорта и типа освещения надземной части

Table 7. Number of roots of *Vaccinium vitis-idaea* L., depending on variety and light

Сорт	Освещение			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
«Костромская розовая», шт	1,8	2,5	4,5	2,9
«Рубин», шт	1,3	2,3	3,2	2,3
Среднее, шт	1,6	2,4	3,9	–
НСР ₀₅ фактор А = 1,67 фактор, В = 1,44, общ. = 2,33				

зависимости от сорта, у обоих видов клюквы были незначительны.

Максимальная суммарная длина корней клюквы крупноплодной и клюквы болотной (в среднем 133,6–156,9 см) отмечена при освещении надземной части лампами СД-Б+К+С и была в 2,6–3,1 раза больше, чем в варианте освещения СД-Б, и в 3,3–3,8 раза больше, чем при освещении лампами ЛБ (табл. 6). При этом при освещении лампами СД-Б+К+С суммарная длина корней клюквы крупноплодной и клюквы болотной гибридных форм была в 1,2–1,3 раза больше, чем у растений сортов «Бен Лир» и «Дар Костромы» соответственно.

При укоренении растений-регенерантов брусники обыкновенной освещение надземной части лампами СД-Б+К+С способствовало формированию наибольшего количества корней (в среднем 3,9 шт.), что в 1,6 и 2,4 раза больше, чем при освещении лампами СД-Б и ЛБ соответственно (табл. 7). В зависимости от сорта существенных различий по количеству корней не отмечено.

Таблица 6. Суммарная длина корней клюквы в зависимости от сорта и спектрального диапазона освещения надземной части

Table 6. Total length of roots of *Oxycoccus*, depending on variety and spectrum

Сорт	Освещение			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
Клюква крупноплодная				
«Бен Лир», см	39,9	50,8	122,1	70,9
Гибридная форма 1-23-3, см	40,3	52,3	145,0	79,2
Среднее, см	40,1	51,6	133,6	–
НСР ₀₅ фактор А = 4,73, фактор В = 5,11, общ. = 3,62				
Клюква болотная				
«Дар Костромы», см	46,6	55,2	141,2	81,0
Гибридная форма 1-15-635, см	36,5	46,7	172,6	85,3
Среднее, см	41,6	51,0	156,9	–
НСР ₀₅ фактор А = 4,89, фактор В = 5,42, общ. = 3,91				

Таблица 8. Суммарная длина корней брусники обыкновенной в зависимости от сорта и типа освещения надземной части

Table 8. Total length of roots of *Vaccinium vitis-idaea* L., depending on variety and light

Сорт	Освещение			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
«Костромская розовая», см	2,6	4,6	18,5	8,6
«Рубин», см	1,0	4,2	12,5	5,9
Среднее, см	1,8	4,4	15,5	–
НСР ₀₅ фактор А = 1,97, фактор В = 1,65, общ. = 2,41				

Суммарная длина корней брусники была максимальной (в среднем 15,5 см) при освещении надземной части лампами СД-Б+К+С и была 3,5 и 8,6 раза больше, чем при использовании освещения СД-Б и ЛБ соответственно (табл. 8). При этом у растений сорта «Костромская розовая» суммарная длина корней в 1,5 раза превышала показатель сорта «Рубин».

Наибольшее количество корней у растений красники (в среднем 3,4 шт.) наблюдалось при освещении наземной части лампами СД-Б+К+С и было в 1,1 и 2,0 раза больше, чем в вариантах освещения лампами СД-Б и ЛБ соответственно (табл. 9).

Суммарная длина корней красники была также максимальной (в среднем 10,0 см) при освещении надземной части растений лампами СД-Б+К+С, что в 2,3 раза больше, чем при освещении лампами СД-Б, и в 4,6 раза больше, чем при освещении ЛБ (табл. 10).

Существенных различий биометрических показателей растений красники по количеству и

Таблица 9. Количество корней красники в зависимости от формы и типа освещения надземной части

Table 9. Number of roots of *Vaccinium praestans* Lamb., depending on shape and light

Форма	Вариант освещения			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
Сахалинская, шт	1,5	2,7	3,2	2,5
Курильская, шт	1,8	3,3	3,5	2,7
Среднее, шт	1,7	3,0	3,4	–
НСР ₀₅ фактор А = 0,87, фактор В = 0,64, общ. = 1,03				

суммарной длине корней, в зависимости от формы, не выявлено.

Выводы

По результатам проведенных экспериментальных исследований установлено, что при клональном микроразмножении лесных ягодных растений (голубика полувысокорослая, княженика арктическая, клюква крупноплодная, клюква болотная, брусника обыкновенная, красника) перспективных сортов и форм наибольшее количество корней (3,4–14,6 шт.) максимальной длины (10,0–156,9 см) формировалось при освещении надземной части растений-регенерантов светодиодными лампами с комбинацией белого, красного и синего спектров. При этом в большинстве вариантов не наблюдалось существенных различий по биометрическим показателям в зависимости от сорта или формы. Однако суммарная длина корней растений княженики арктической, клюквы крупноплодной и клюквы болотной гибридных форм имела показатели в 1,2–1,3 больше, чем у растений сравниваемых сортов.

Таким образом, при клональном микроразмножении целесообразно применение светодиодных ламп. Это способствует лучшему протеканию процесса ризогенеза лесных ягодных растений по сравнению с освещением люминесцентными лампами. При использовании комбинации белого, синего и красного спектров на этапе укоренения растений в культуре *in vitro* биометрические показатели значительно увеличиваются.

Критерии авторства

С. С. Макаров руководил проектом, проводил закладку лабораторного опыта на всех этапах клонального микроразмножения, проводил анализ литературных источников по вопросу использования биотехнологических способов размножения лесных ягодных растений. С. А. Родин и С. Ю. Цареградская

Таблица 10. Суммарная длина корней красники в зависимости от формы и типа освещения надземной части

Table 10. Total length of roots of *Vaccinium praestans* Lamb., depending on shape and light

Форма	Вариант освещения			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
Сахалинская, см	1,8	4,1	9,3	5,1
Курильская, см	2,5	4,6	10,8	6,0
Среднее, см	2,2	4,4	10,0	–
НСР ₀₅ фактор А = 1,75, фактор В = 1,35, общ. = 2,31				

проводили анализ литературных источников по вопросу актуальности использования и хозяйственной ценности лесных ягодных растений. И. Б. Кузнецова проводила закладку лабораторного опыта на этапе укоренения растений *in vitro*, проводила статистическую обработку данных. А. И. Чудецкий проводил статистическую обработку данных.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Выражаем благодарность канд. биол. наук Г. В. Тяк, канд. биол. наук Г. Ю. Макеевой, канд. с.-х. наук И. А. Кореневу, канд. биол. наук Л. Е. Курлович, А. В. Тяку, В. А. Макееву.

Contribution

S.S. Makarov supervised the project, conducted the initial stage of laboratory experiments, and reviewed the literature on biotechnological methods of propagation of forest berry plants. S.A. Rodin and S.Yu. Tsaregradskaya reviewed publications on the relevance and economic value of forest berry plants. I.B. Kuznetsova performed laboratory experiments at the stage of plant rooting and processed statistical data. A.I. Chudetsky was responsible for statistical data processing.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Acknowledgments

The authors express our gratitude to G.V. Tyak, Cand.Sci.(Biol.), G.Yu. Makeeva, Cand.Sci.(Biol.), I.A. Korenev, Cand.Sci.(Agri.), L.E. Kurlovich, Cand.Sci.(Biol.), A.V. Tyak, Cand.Sci.(Biol.), and V.A. Makeev, Cand.Sci.(Biol.).

Список литературы

1. Тяк Г. В. Выращиваем княженику // Питомник и частный сад. 2016. № 1. С. 18–22.
2. Drózd P., Šežienė V., Pyrzynska K. Phytochemical properties and antioxidant activities of extracts from wild blueberries and lingonberries // Plant Foods for Human Nutrition. 2017. Vol. 72. № 4. P. 360–364. <https://doi.org/10.1007/s11130-017-0640-3>.
3. Cranberry reduces the risk of urinary tract infection recurrence in otherwise healthy women: A systematic review and meta-analysis / Z. Fu [et al.] // Journal of Nutrition. 2017. Vol. 147. № 12. P. 2282–2288. <https://doi.org/10.3945/jn.117.254961>.
4. Polyphenols, anthocyanins, and flavonoids contents and the antioxidant capacity of various cultivars of highbush and half-high blueberries / D. Li [et al.] // Journal of Food Composition and Analysis. 2017. Vol. 62. P. 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.03.006>.
5. The antiadhesive activity of cranberry phytocomplex studied by metabolomics: Intestinal PAC-A metabolites but not intact PAC-A are identified as markers in active urines against uropathogenic *Escherichia coli* / G. Peron [et al.] // Fitoterapia. 2017. Vol. 122. P. 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2017.08.014>.
6. Ragnar M. Åkerbär. Black Island Books, 2017. 176 p.
7. Vaccinium vitis-idaea L., origin from Bulgaria indicate in vitro antitumor effect on human cervical and breast cancer cells / S. G. Angelova [et al.] // American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences. 2019. Vol. 56. № 1. P. 104–112.
8. Debnath S. C., An D. Antioxidant properties and structured biodiversity in a diverse set of wild cranberry clones // Heliyon. 2019. Vol. 5. № 4. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01493>.
9. Philip N., Walsh L. J. Cranberry polyphenols: Natural weapons against dental caries // Dentistry Journal. 2019. Vol. 7. № 1. <https://doi.org/10.3390/dj7010020>.
10. Effects of blueberry and cranberry consumption on type 2 diabetes glycemic control: A systematic review / D. M. U. P. Rocha [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019. Vol. 59. № 11. P. 1816–1828. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1430019>.
11. Coleman C. M., Ferreira D. Oligosaccharides and complex carbohydrates: A new paradigm for cranberry bioactivity // Molecules. 2020. Vol. 25. № 4. <https://doi.org/10.3390/molecules25040881>.
12. Recent research on the health benefits of blueberries and their anthocyanins / W. Kalt [et al.] // Advances in Nutrition. 2020. Vol. 11. № 2. P. 224–236. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz065>.
13. Тяк Г. В., Курлович Л. Е., Тяк А. В. Биологическая рекультивация выработанных торфяников путем создания посадок лесных ягодных растений // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. Т. 11. № 2. С. 43–46. <https://doi.org/10.12737/20633>.
14. Мацнева О. В., Ташматова Л. В. Клональное микроразмножение земляники – перспективный метод современного питомниководства (обзор) // Современное садоводство. 2019. № 4. С. 113–119. <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2019-10411>.
15. Макаров С. С., Кузнецова И. Б., Смирнов В. С. Совершенствование технологии клонального микроразмножения княженики арктической (*Rubus arcticus* L.) // Лесохозяйственная информация. 2018. № 4. С. 91–97. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2018.4.09>.
16. Коренев И. А., Тяк Г. В., Макаров С. С. Создание новых сортов лесных ягодных растений и перспективы их интенсивного размножения (*in vitro*) // Лесохозяйственная информация. 2019. № 3. С. 180–189. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.15>.
17. Особенности клонального микроразмножения клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) / С. С. Макаров [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 1. С. 67–76. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-67-76>.
18. Obtaining high-quality planting material of forest berry plants by clonal micropropagation for restoration of cutover peatlands / S. S. Makarov [et al.] // Lesnoy zhurnal. 2021. Т. 380. № 2. P. 21–29.
19. Тихомиров А. А., Ушакова С. А. Научные и технологические основы формирования фототрофного звена биолого-технических систем жизнеобеспечения. Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, 2016. 200 с.
20. LED light for in vitro and ex vitro efficient growth of economically important highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) / C. D. Hung [et al.] // Acta Physiologiae Plantarum. 2016. Vol. 38. № 6. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2164-0>.
21. Application of light-emitting diodes for improving the nutritional quality and bioactive compound levels of some crops and medicinal plants / W.-S. Jung [et al.] // Molecules. 2021. Vol. 26. № 5. <https://doi.org/10.3390/molecules26051477>.

References

1. Tyak GV. Vyrashchivaem knyazheniku [Arctic bramble and how to grow it]. Pitomnik i chastnyy sad [Nursery and Garden]. 2016;(1):18–22. (In Russ.).
2. Drózd P, Šežienė V, Pyrzynska K. Phytochemical properties and antioxidant activities of extracts from wild blueberries and lingonberries. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2017;72(4):360–364. <https://doi.org/10.1007/s11130-017-0640-3>.
3. Fu Z, Liska D, Talan D, Chung M. Cranberry reduces the risk of urinary tract infection recurrence in otherwise healthy women: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Nutrition*. 2017;147(12):2282–2288. <https://doi.org/10.3945/jn.117.254961>.
4. Li D, Li B, Ma Y, Sun X, Lin Y, Meng X. Polyphenols, anthocyanins, and flavonoids contents and the antioxidant capacity of various cultivars of highbush and half-high blueberries. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2017;62:84–93. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.03.006>.
5. Peron G, Sut S, Pellizzaro A, Brun P, Voinovich D, Castagliuolo I, et al. The antiadhesive activity of cranberry phytocomplex studied by metabolomics: Intestinal PAC-A metabolites but not intact PAC-A are identified as markers in active urines against uropathogenic *Escherichia coli*. *Fitoterapia*. 2017;122:67–75. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2017.08.014>.
6. Ragnar M. Åkerbär. Black Island Books; 2017. 176 p.
7. Angelova SG, Ivanova SKr, Trifonova I, Voleva S, Georgieva I, Stoyanova A, et al. *Vaccinium vitis-idaea* L., origin from Bulgaria indicate in vitro antitumor effect on human cervical and breast cancer cells. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*. 2019;56(1):104–112.
8. Debnath SC, An D. Antioxidant properties and structured biodiversity in a diverse set of wild cranberry clones. *Heliyon*. 2019;5(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01493>.
9. Philip N, Walsh LJ. Cranberry polyphenols: Natural weapons against dental caries. *Dentistry Journal*. 2019;7(1). <https://doi.org/10.3390/dj7010020>.
10. Rocha DMUP, Caldas APS, da Silva BP, Hermsdorff HHM, Alfenas RDCG. Effects of blueberry and cranberry consumption on type 2 diabetes glycemic control: A systematic review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019;59(11):1816–1828. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1430019>.
11. Coleman CM, Ferreira D. Oligosaccharides and complex carbohydrates: A new paradigm for cranberry bioactivity. *Molecules*. 2020;25(4). <https://doi.org/10.3390/molecules25040881>.
12. Kalt W, Cassidy A, Howard LR, Krikorian R, Stull AJ, Tremblay F, et al. Recent research on the health benefits of blueberries and their anthocyanins. *Advances in Nutrition*. 2020;11(2):224–236. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz065>.
13. Tyak GV, Kurlovich LE, Tyak AV. Biological recultivation of degraded peatlands by creating forest berry plants. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2016;11(2):43–46. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/20633>.
14. Matsneva OV, Tashmatova LV. Clonal micro-propagation of strawberries is a promising method of modern nursery practice (review). *Contemporary Horticulture*. 2019;(4):113–119. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2019-10411>.
15. Makarov SS, Kuznetsova IB, Smirnov VS. Improving technology of clonal micropropagation of arctic bramble (*Rubus arcticus* L.). *Forestry Information*. 2018;4:91–97. (In Russ.). <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2018.4.09>.
16. Korenev IA, Tyak GV, Makarov SS. Creation of new varieties of forest berry plants and prospects of their intensive reproduction (*in vitro*). *Forestry Information*. 2019;3:180–189. (In Russ.). <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.15>.
17. Makarov SS, Kuznetsova IB, Upadyshev MT, Rodin SA, Chudetsky AI. Clonal micropropagation of cranberry (*Oxycoccus palustris* Pers.). *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(1):67–76. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-67-76>.
18. Makarov SS, Kuznetsova IB, Chudetsky AI, Rodin SA. Obtaining high-quality planting material of forest berry plants by clonal micropropagation for restoration of cutover peatlands. *Lesnoy zhurnal*. 2021;380(2):21–29.
19. Tikhomirov AA, Ushakova SA. Nauchnye i tekhnologicheskie osnovy formirovaniya fototrofnogo zvena biologo-tekhnicheskikh sistem zhizneobespecheniya [Scientific and technological foundations of the phototrophic link of biological and technical life support systems]. Krasnoyarsk: Reshetnev Siberian State University of Science and Technology; 2016. 200 p. (In Russ.).
20. Hung CD, Hong C-H, Kim S-K, Lee K-H, Park J-Y, Nam M-W, et al. LED light for in vitro and ex vitro efficient growth of economically important highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*. 2016;38(6). <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2164-0>.
21. Jung W-S, Chung I-M, Hwang MH, Kim S-H, Yu CY, Ghimire BK. Application of light-emitting diodes for improving the nutritional quality and bioactive compound levels of some crops and medicinal plants. *Molecules*. 2021;26(5). <https://doi.org/10.3390/molecules26051477>.