

Научная статья

УДК 634.7

DOI: 10.37482/0536-1036-2022-6-82-93

Применение освещения различного спектрального диапазона при клональном микроразмножении лесных ягодных растений

С.С. Макаров^{1,2} , *д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр.*; *ResearcherID*: [AAK-9829-2021](https://orcid.org/0000-0003-0564-8888),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0564-8888>

*М.Т. Упадышев*³, *д-р с.-х. наук, чл.-кор. РАН, гл. науч. сотр.*;

ResearcherID: [AAE-1086-2022](https://orcid.org/0000-0003-1069-3771), *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-1069-3771>

*И.Б. Кузнецова*⁴, *канд. с.-х. наук, доц.*; *ResearcherID*: [AAB-4568-2021](https://orcid.org/0000-0001-5011-3271),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5011-3271>


*А.В. Заушинцева*⁵, *д-р биол. наук, проф.*; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-4645-828X>

*Е.И. Куликова*⁶, *канд. с.-х. наук, зав. каф.*; *ResearcherID*: [AAL-8290-2021](https://orcid.org/0000-0002-5981-2690),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5981-2690>

*Е.А. Сурина*⁷, *канд. с.-х. наук*; *ResearcherID*: [AAD-6192-2019](https://orcid.org/0000-0002-8159-8977),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8159-8977>

¹Центрально-европейская лесная опытная станция, просп. Мира, д. 134, г. Кострома, Россия, 156013; makarov_serg44@mail.ru 

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; makarov_serg44@mail.ru

³Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, ул. Загорьевская, д. 4, Москва, Россия, 115598; vstisp@vstisp.org

⁴Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Учебный городок, Караваяевская с/а, д. 34, п. Караваяево, Костромской р-н, Костромская обл., Россия, 156530; sonnereiser@yandex.ru

⁵Кемеровский государственный университет, ул. Красная, д. 6, г. Кемерово, Россия, 650000; alexaz58@yandex.ru

⁶Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, ул. Шмидта, д. 2, с. Молочное, г. Вологда, Вологодская обл., Россия, 160555; elena-kulikova@list.ru

⁷Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия, 163062; surina_ea@sevniilh-arh.ru

Поступила в редакцию 26.12.20 / Одобрена после рецензирования 23.03.21 / Принята к печати 25.03.21

Аннотация. В связи с сокращением естественных ресурсов обладающих высокой пищевой и лекарственной ценностью лесных ягодных растений, возрастающим спросом на ягодную продукцию и необходимостью биологической рекультивации выработанных торфяных месторождений целесообразно создание плантаций наиболее востребованных видов этих растений. Приведены результаты исследований клонального микроразмножения лесных ягодных растений – клюквы болотной, клюквы крупноплодной, голубики полувысокой, княженики арктической, брусники обыкновенной, красники – перспективных сортов и форм с применением освещения различного типа: светодиодных ламп белого спектра, с комбинацией белого, красного и синего спектров,

© Макаров С.С., Упадышев М.Т., Кузнецова И.Б., Заушинцева А.В., Куликова Е.И., Сурина Е.А., 2022



Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

люминесцентных ламп белого света. При культивировании растений использовали питательные среды WPM, MS с добавлением цитокининов 2-иР и 6-БАП в различных концентрациях. На этапе собственно микроразмножения при выращивании растений клюквы болотной (сорт Дар Костромы, гибридная форма 1-15-635), клюквы крупноплодной (сорт Ven Lear, гибридная форма 1-23-3), княженики арктической (сорт Анна, гибридная форма К-1), брусники обыкновенной (сортов Костромская розовая и Рубин) и красники (формы Сахалинская и Курильская) наибольшее число (3,3...16,9 шт.) и максимальная суммарная длина (13,8...251,1 см) микропобегов растений наблюдались при освещении светодиодными лампами с комбинацией белого, красного и синего спектров. Формирование наибольшего числа микропобегов (13,1 шт.) с максимальной длиной (98,7 см) у растений голубики полувысокой (сорт Northblue, гибридная форма 23-1-11) отмечено при освещении люминесцентными лампами белого света. Существенных различий биометрических показателей растений при освещении различного типа в зависимости от сортов и форм не обнаружено. Применение светодиодных ламп с комбинацией белого, красного и синего спектров оказывает значительное влияние на формирование микропобегов лесных ягодных растений при клональном микроразмножении.

Ключевые слова: клональное микроразмножение, *in vitro*, освещение, влияние освещения на растения, светодиодные лампы, ягодные растения, клюква, голубика, княженика, брусника, красника

Для цитирования: Макаров С.С., Упадышев М.Т., Кузнецова И.Б., Заушинцева А.В., Куликова Е.И., Сурина Е.А. Применение освещения различного спектрального диапазона при клональном микроразмножении лесных ягодных растений // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 6. С. 82–93. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-82-93>

Original article

The Use of Lighting of Various Spectral Ranges for Clonal Micropropagation of Forest Berry Plants

Sergey S. Makarov^{1,2✉}, *Doctor of Agriculture, Senior Research Scientist;*

ResearcherID: [AAK-9829-2021](https://orcid.org/0000-0003-0564-8888), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0564-8888>

Mikhail T. Upadyshev³, *Doctor of Agriculture, Corresp. Member of RAS, Chief Research*

Scientist; ResearcherID: [AAE-1086-2022](https://orcid.org/0000-0003-1069-3771), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1069-3771>

Irina B. Kuznetsova⁴, *Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAB-4568-2021](https://orcid.org/0000-0001-5011-3271),*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5011-3271>

Aleksandra V. Zaushintsena⁵, *Doctor of Biology, Prof.;*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4645-828X>

Elena I. Kulikova⁶, *Candidate of Agriculture, Head of Department;*

ResearcherID: [AAL-8290-2021](https://orcid.org/0000-0002-5981-2690), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5981-2690>

Elena A. Surina⁷, *Candidate of Agriculture; ResearcherID: [AAD-6192-2019](https://orcid.org/0000-0002-8159-8977),*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8159-8977>

¹Central European Forest Experimental Station, prosp. Mira, 134, Kostroma, 156013, Russian Federation; makarov_serg44@mail.ru✉

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; makarov_serg44@mail.ru

³Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, ul. Zagor'yevskaya, 4, Moscow, 115598, Russian Federation; vstisp@vstisp.org



⁴Kostroma State Agricultural Academy, Uchebnyy gorodok, Karavaevskaya s/a, 34, p. Karavaevo, Kostroma District, Kostroma Region, 156530, Russian Federation; sonnereiser@yandex.ru

⁵Kemerovo State University, ul. Krasnaya, 6, Kemerovo, 650000, Russian Federation; alexaz58@yandex.ru

⁶Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, ul. Shmidta, 2, s. Molochnoe, Vologda, Vologda Region, 160555, Russian Federation; elena-kulikova@list.ru

⁷Northern Research Institute of Forestry, ul. Nikitova, 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; surina_ea@sevniilh-arh.ru

Received on December 26, 2020 / Approved after reviewing on March 23, 2021 / Accepted on March 25, 2021

Abstract. Creation of plantations of the most popular species of forest berry plants with high nutritional and medicinal value is advisable in connection with the reduction of such natural resources and the increased demand for berry products, as well as for the biological reclamation of depleted peat deposits. The paper shows the research results of clonal micropropagation of forest berry plants (cranberry, American cranberry, half-high blueberry, Arctic bramble, lingonberry, Kamchatka bilberry) of promising cultivars and forms using various types of lighting (white LED lamps, LED lamps with a combination of white, red and blue spectra, as well as white fluorescent lamps). Plants were cultivated using WPM and MS nutrient media with the addition of cytokinins 2-iP and 6-BAP in various concentrations. The largest number (3.3–16.9 pcs) and the maximum total length (13.8–251.1 cm) of microshoots of cranberry (Dar Kostromy cultivar, hybrid form 1-15-635), American cranberry (Ben Lear cultivar, hybrid form 1-23-3), Arctic bramble (Anna cultivar, hybrid form K-1), lingonberry (Kostromskaya rozovaya and Rubin cultivars) and Kamchatka bilberry (Sakhalinskaya and Kurilskaya forms) were observed under lighting by LED lamps with a combination of white, red and blue spectra at the “proper micropropagation” stage. The formation of the largest number (13.1 pcs) and the maximum length (98.7 cm) of microshoots of half-high blueberry (Northblue cultivar, hybrid form 23-1-11) was observed under lighting by white fluorescent lamps. There were no significant differences in biometric parameters of plants under different types of lighting depending on cultivars and forms. The use of LED lamps with a combination of white, red and blue spectra has a significant effect on the formation of microshoots of forest berry plants during clonal micropropagation.

Keywords: clonal micropropagation, *in vitro*, lighting, lighting effects on plants, LED lamps, berry plants, cranberry, blueberry, Arctic bramble, lingonberry, Kamchatka bilberry

For citation: Makarov S.S., Upadyshev M.T., Kuznetsova I.B., Zaushintsena A.V., Kulikova E.I., Surina E.A. The Use of Lighting of Various Spectral Ranges for Clonal Micropropagation of Forest Berry Plants. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2022, no. 6, pp. 82–93. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-82-93>

Введение

Наиболее полное использование лесных ресурсов, включая вовлечение недревесной продукции леса, в настоящее время является одной из актуальных проблем в организации многоцелевого, рационального и неистощительного лесопользования при решении главных задач развития лесного комплекса РФ [9]. Однако вследствие постоянно усиливающегося антропогенного влияния, в особенности в лесах таежной зоны и зоны хвойно-широколиственных лесов европейской части России, появляются тенденции сокращения запасов редких и хозяйственно-ценных видов лесных ягодных растений, уменьшения их продуктивности. Помимо этого, на территории центрально-европейской части России, преи-

мущественно на землях лесного фонда, не решена проблема рекультивации неиспользуемых земель, вышедших из промышленного оборота, в частности выработанных торфяных месторождений. В силу своего низкого плодородия и высокой кислотности торфяники являются малоперспективными для лесохозяйственного и сельскохозяйственного использования. Более того идут процессы разрушения болотных экосистем, сокращения численности и уничтожения популяций их обитателей, уменьшения запасов грунтовых, подземных и поверхностных вод – значительно повышается риск возникновения торфяных пожаров, последующего атмосферного загрязнения продуктами сгорания и негативного влияния на значительные территории [11, 15, 22–25].

Однако в условиях южно-таежного лесного района европейской части России (Костромская область) есть положительный опыт выращивания в условиях выработанных торфяников различных лесных ягодных растений, таких как клюква болотная (*Oxycoccus palustris* Pers.), клюква крупноплодная (*O. macrocarpus* Pers.), голубика узколистная (*Vaccinium angustifolium* Ait.), голубика полувысокая (*V. corymbosum* L. × *V. angustifolium* Ait.), брусника обыкновенная (*V. vitis-idaea* L.), красника (*V. praestans* Lamb.), княженика арктическая (*Rubus arcticus* L.), морошка приземистая (*R. chamaemorus* L.) и других, в том числе сортов и перспективных гибридных форм [5, 11]. При этом сорта и гибриды перечисленных растений имеют большие урожайность и крупноплодность по сравнению с дикорастущими экземплярами, что при высокой пищевой и лекарственной ценности этих видов и растущем спросе на ягодную продукцию создает перспективы их выращивания в промышленных масштабах.

В связи с этим для биологической рекультивации выработанных торфяных месторождений, повышения продуктивности ягодных угодий (в особенности хозяйственно-ценных, редких видов) и увеличения биоразнообразия лесного фонда необходимо создавать плантации лесных ягодных растений высококачественным сортовым посадочным материалом. Как наиболее эффективный способ выращивания целесообразно использовать метод клонального микроразмножения, позволяющий в течение целого года получать большое количество высококачественного оздоровленного посадочного материала, в том числе плохо размножаемых традиционными способами видов [8]. С 2015 г. клональным микроразмножением перспективных для выращивания в европейской части России сортов и гибридных форм лесных ягодных растений занимаются на Центрально-европейской лесной опытной станции ВНИИЛМ [5–7, 20].

Важнейшим условием для нормального функционирования растений является свет, дающий энергию для осуществления фотосинтеза. Спектральный состав света, а также разные участки спектрального диапазона оказывают специфическое действие на регуляцию различных морфогенетических и физиологических процессов [10, 16]. Например, для этапа размножения растений рода *Rubus* установлено преимущество красного и зеленого света по коэффициенту размножения, синего и зеленого – по длине побегов; для этапа укоренения – красного и синего света, причем последний ингибировал недифференцированный рост каллусных тканей [12]. Для большинства плодовых и ягодных культур комбинированное применение света с долями излучения 87,5 и 12,5 % в красной и синей областях спектра соответственно способствовало достижению высокого эффекта регенерации на различных этапах культивирования эксплантов [13].

При подборе оптимальных источников освещения для растений исследователи все чаще обращаются к белым светодиодам, излучение которых содержит компоненты всех основных полос в диапазоне фотосинтетически активной радиации. При этом белые светодиоды могут применяться как в чистом виде, так и в комбинациях с узкополосными красными и красно-синими светодиодами [18]. Поскольку исследований по влиянию типа освещения на рост и развитие лесных ягодных растений в культуре *in vitro* на сегодняшний день проведено недостаточно [3, 17], результаты опытов в данном направлении имеют научную и практическую ценность.

Цель – изучить влияние света различного спектрального диапазона на ростовые процессы у лесных ягодных растений перспективных сортов и форм при клональном микроразмножении.

Объекты и методы исследования

Исследования по выращиванию в культуре *in vitro* лесных ягодных растений проводили в Лаборатории клонального микроразмножения на базе филиала ВНИИЛМ Центрально-европейской лесной опытной станции по общепринятым методикам [2, 4]. В качестве объектов исследований использовали экспланты растений клюквы болотной (сорт Дар Костромы и гибридная форма 1-15-635), клюквы крупноплодной (сорт Ben Lear и гибридная форма 1-23-3), голубики полувысокой (сорт Northblue и гибридная форма 23-1-11), княженики арктической (сорт Анна и гибридная форма К-1), брусники обыкновенной (сорта Костромская розовая и Рубин) и красники (формы Сахалинская и Курильская).

В условиях световой комнаты при температуре +23...25 °С, влажности 75–80 % и фотопериоде 16/8 ч растения клюквы, голубики и красники культивировали на питательной среде WPM (Woody Plant Medium) [19], княженики – на питательной среде MS (Мурасиге-Скуга) [21], брусники – на питательной среде Андерсона [14]. На этапе собственно микроразмножения в питательную среду добавляли регуляторы роста цитокининовой группы: при выращивании клюквы, голубики, брусники и красники – 2-иР (2-изопентиладенин) в концентрациях 1,0...5,0 мл/л, при выращивании княженики – 6-БАП (6-бензиламинопурин) в концентрации 0,5 мл/л.

Для изучения влияния света на рост и развитие размножаемых растений использовали светодиодные (СД) лампы разного спектрального состава: СД-Б – белого спектра (длина волны $\lambda = 653$ нм); СД-Б+К+С – с комбинацией белого ($\lambda = 653$ нм), красного ($\lambda = 670$ нм) и синего ($\lambda = 455$ нм) спектров. В качестве контроля применяли люминесцентные лампы белого света (ЛБ). В штативах из пенопласта, закрывающих от света корневую систему, размещали и культивировали при постоянном освещении в течение 3 пассажей растения-регенеранты (см. рисунок). Учитывали число и суммарную длину микропобегов в расчете на 1 растение. Опыты проводили в 10-кратной биологической и 2-кратной аналитической повторностях.

Для статистической обработки данных использовали программное обеспечение Microsoft Office 2016 и AGROS v.2.11. Применяли дисперсионный 2-факторный анализ, где фактор А – сорт или форма, фактор В – тип освещения. Достоверность различий между средними данными по вариантам опыта оценивали с помощью наименьшей существенной разности для 5 %-го уровня значимости ($НСР_{05}$).



а



б

Освещение растений-регенерантов светодиодными лампами: а – белого спектра; б – с комбинацией белого, красного и синего спектров

Lighting of regenerated plants with LED lamps: а – white spectrum; б – combination of white, red and blue spectra

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных исследований выявлено, что использование света разного спектрального диапазона оказывает существенное влияние на число побегов клюквы болотной и клюквы крупноплодной. Так, наибольшее число микропобегов (14,9 и 15,2 шт. соответственно) формировалось при освещении растений-регенерантов лампами СД-Б+К+С, что в 1,9 раза больше по сравнению с использованием ламп СД-Б (табл. 1). Существенных различий между показателями по сортам и формам обоих видов не отмечено.

Суммарная длина микропобегов клюквы болотной и клюквы крупноплодной при освещении лампами СД-Б+К+С была в 4,0–4,1 раза больше по сравнению с длиной при использовании ламп СД-Б. У растений клюквы болотной и клюквы крупноплодной гибридных форм суммарная длина микропобегов в 1,2–1,3 раза превосходила данный показатель у растений сортов Дар Костромы и Ben Lear (табл. 1).

Таблица 1

Число микропобегов и их суммарная длина для клюквы в зависимости от сорта и типа освещения
The number of cranberry microshoots and their total length depending on the variety and lighting type

Сорт	Освещение			Среднее
	СД-Б	СД-Б+К+С	ЛБ	
<i>Число микропобегов, шт.</i>				
Клюква болотная (НСР ₀₅ : фактор А – F _φ < F ₀₅ ; фактор В = 1,29; общее = 2,23)				
Дар Костромы	7,3	13,8	7,2	9,4
Гибридная форма 1-15-635	8,6	15,9	7,5	10,7
<i>Среднее</i>	8,0	14,9	7,4	–
Клюква крупноплодная (НСР ₀₅ : фактор А – F _φ < F ₀₅ ; фактор В = 1,21; общее = 2,27)				
Ben Lear	7,6	14,1	7,5	9,7
Гибридная форма 1-23-3	8,8	16,2	7,7	10,9
<i>Среднее</i>	8,2	15,2	7,6	–

Окончание табл. 1

Сорт	Освещение			Среднее
	СД-Б	СД-Б+К+С	ЛБ	
<i>Суммарная длина микропобегов, см</i>				
Клюква болотная (НСР ₀₅ : фактор А = 5,59; фактор В = 7,40; общее = 5,50)				
Дар Костромы	45,7	172,3	36,5	84,8
Гибридная форма 1-15-635	51,3	223,6	46,9	107,3
<i>Среднее</i>	48,5	198,0	41,7	–
Клюква крупноплодная (НСР ₀₅ : фактор А = 5,27; фактор В = 7,32; общее = 5,73)				
Ben Lear	46,4	174,0	37,2	85,9
Гибридная форма 1-23-3	52,6	225,2	42,1	106,6
<i>Среднее</i>	49,5	199,6	39,7	–

При клональном микроразмножении голубики полувысокой в случае освещения люминесцентными лампами формировалось максимальное число микропобегов (в среднем 13,1 шт.) – в 1,3 и 1,6 раза больше, чем при освещении лампами СД-Б и СД-Б+К+С соответственно. Значительных различий по числу микропобегов в зависимости от сорта не отмечено. При освещении люминесцентными полноспектральными лампами суммарная длина микропобегов голубики полувысокой была в 1,6 и 2,5 раза больше, чем при освещении СД-Б и СД-Б+К+С соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Число микропобегов и их суммарная длина для голубики полувысокой в зависимости от сорта и типа освещения
The number of half-high blueberry microshoots and their total length depending on the variety and lighting type

Сорт	Освещение			Среднее
	СД-Б	СД-Б+К+С	ЛБ	
<i>Число микропобегов, шт.</i> (НСР ₀₅ : фактор А – $F_{\phi} < F_{05}$; фактор В = 1,05; общее = 2,08)				
Northblue	9,5	7,9	12,3	9,9
Гибридная форма 23-1-11	10,2	8,3	13,9	10,8
<i>Среднее</i>	9,9	8,1	13,1	–
<i>Суммарная длина микропобегов, см</i> (НСР ₀₅ : фактор А = 3,86; фактор В = 4,11; общее = 6,10)				
Northblue	56,0	40,4	95,9	64,1
Гибридная форма 23-1-11	64,5	38,2	101,5	68,1
<i>Среднее</i>	60,3	39,3	98,7	–

При освещении растений-регенерантов княженики лампами СД-Б+К+С образовывалось наибольшее число микропобегов (в среднем 16,9 шт.), которое было в 2 раза выше по сравнению с результатами, полученными при освещении лампами СД-Б. Существенных различий в зависимости от сорта по числу микропобегов не выявлено. Максимальная суммарная длина микропобегов княженики арктической также наблюдалась при освещении растений-регенерантов лампами СД-Б+К+С и была в 5 раз больше, чем при освещении СД-Б. Существенной разницы между показателями в зависимости от сорта не обнаружено (табл. 3).

Таблица 3

**Число микропобегов и их суммарная длина для княженики арктической
в зависимости от сорта и типа освещения**
**The number of Arctic bramble microshoots and their total length
depending on the variety and lighting type**

Сорт	Освещение			Среднее
	СД-Б	СД-Б+К+С	ЛБ	
<i>Число микропобегов, шт.</i> (НСР ₀₅ : фактор А – F _ф < F ₀₅ ; фактор В = 1,21; общее = 2,18)				
Анна	8,5	18,0	5,3	10,6
Гибридная форма К-1	8,2	15,7	6,9	10,3
<i>Среднее</i>	8,4	16,9	6,1	–
<i>Суммарная длина микропобегов, см</i> (НСР ₀₅ : фактор А = 6,56; фактор В = 8,41; общее = 6,60)				
Анна	48,5	271,9	21,5	114,0
Гибридная форма К-1	51,9	230,2	30,1	104,1
<i>Среднее</i>	50,2	251,1	25,8	–

При клональном микроразмножении брусники обыкновенной число микропобегов не зависело от типа освещения и сортовых особенностей. Суммарная длина микропобегов была наибольшей при освещении лампами СД-Б+К+С (в среднем 14,9 см) и в 1,7 и 2,3 раза выше, чем при освещении СД-Б и ЛБ соответственно. Различия между сортами по длине микропобегов незначительные (табл. 4).

Таблица 4

**Число микропобегов и их суммарная длина для брусники обыкновенной
в зависимости от сорта и типа освещения**
**The number of lingonberry microshoots and their total length depending
on the variety and lighting type**

Сорт	Освещение			Среднее
	СД-Б	СД-Б+К+С	ЛБ	
<i>Число микропобегов, шт.</i> (НСР ₀₅ : факторы А, В и АВ – F _ф < F ₀₅)				
Костромская розовая	3,4	3,5	2,0	3,2
Рубин	3,1	3,1	2,8	2,7
<i>Среднее</i>	3,3	3,3	2,4	–
<i>Суммарная длина микропобегов, см</i> (НСР ₀₅ : фактор А – F _ф < F ₀₅ ; фактор В = 1,41; общее = 2,10)				
Костромская розовая	8,9	16,1	7,1	10,7
Рубин	8,7	13,6	5,8	9,4
<i>Среднее</i>	8,8	14,9	6,5	–

Наибольшее число микропобегов у растений красники формировалось при освещении лампами СД-Б+К+С (в среднем 3,6 шт.), это в 1,3 и 1,9 раза превышает данный показатель при освещении лампами СД-Б и ЛБ соответственно. Форма красники Сахалинская характеризовалась несколько более значительной побегообразовательной способностью (на 20 %) по сравнению с формой Курильская. Максимальная суммарная длина микропобегов красники отмечена

при освещении лампами СД-Б+К+С (в среднем 13,8 см) – в 2,3 и 5,5 раза больше, чем в вариантах освещения лампами СД-Б и ЛБ соответственно. При этом различия между формами оказались несущественными (табл. 5).

Таблица 5

Число микропобегов и их суммарная длина для красники в зависимости от формы и типа освещения
The number of Kamchatka bilberry microshoots and their total length depending on the form and lighting type

Форма	Вариант освещения			Среднее
	СД-Б	СД-Б+К+С	ЛБ	
<i>Число микропобегов, шт.</i> (НСР ₀₅ : фактор А – $F_{\phi} < F_{05}$; фактор В = 0,95; общее = 1,08)				
Сахалинская	3,1	3,9	2,0	3,0
Курильская	2,4	3,3	1,8	2,5
<i>Среднее</i>	2,8	3,6	1,9	–
<i>Суммарная длина микропобегов, см</i> (НСР ₀₅ : фактор А – $F_{\phi} < F_{05}$; фактор В = 4,11; общее = 6,10)				
Сахалинская	7,2	15,6	3,1	8,6
Курильская	5,0	12,0	1,8	6,3
<i>Среднее</i>	6,1	13,8	2,5	–

Полученный в результате проведенных исследований положительный эффект от использования светодиодных ламп при культивировании лесных ягодных растений *in vitro* подтверждается данными из научной литературы [3, 17]. Светодиодные источники света могут с успехом применяться на всех этапах микроразмножения, включая укоренение микропобегов. Для земляники садовой использование светодиодных источников света с увеличенной долей красного спектра повышало укореняемость микрочеренков на 15–25 % и число корней – в 1,3–1,8 раза по сравнению с люминесцентными лампами [1]. Для всех изученных культур, за исключением голубики полуввысокой, максимальные биометрические показатели были достигнуты при освещении светодиодными лампами с комбинацией белого, красного и синего спектров. Для голубики высокой предпочтительнее оказалось использование люминесцентных ламп белого спектра. Выявленная специфичность видовой реакции растений на спектральный состав света может быть обусловлена различиями в максимумах поглощения фоторегуляторных пигментов, содержании эндогенных регуляторов роста и других физиологически активных соединений [12, 13].

Заключение

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно заключить, что при клональном микроразмножении растений клюквы болотной, клюквы крупноплодной, княженики арктической, брусники обыкновенной и красники наибольшее число микропобегов максимальной длины формировалось при освещении светодиодными лампами с комбинацией белого, красного и синего спектров. Растения голубики полуввысокой наибольшие показатели роста имели при освещении люминесцентными лампами белого спектра. Существенных различий биометрических показателей в зависимости от сортов и

форм не отмечено, за исключением суммарной длины микропобегов у клюквы, княженики арктической и голубики полуввысокой разных форм. Использование освещения светодиодными лампами с комбинацией спектров перспективно при клональном размножении лесных ягодных растений с целью получения большого количества микропобегов максимальной длины для дальнейшего выращивания их в культуре *in vitro* и последующего создания плантаций посадочным материалом полученных растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бьядовский И.А. Влияние различных по спектральному составу светодиодных источников света на укореняемость земляники садовой (*Fragaria×ananassa*) *in vitro* // Тр. по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. Т. 180, вып. 1. С. 33–37.

Byadovsky I.A. The Effect of Led Light Sources with Varied Spectral Composition on the *in vitro* Rooting Bility of Garden Strawberry (*Fragaria×ananassa*). *Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding, 2019, vol. 180, no. 1, pp. 33–37. (In Russ.). <https://dx.doi.org/10.30901/2227-8834-2019-1-33-37>

2. Бьядовский И.А., Упадышев М.Т. Клональное микроразмножение плодовых культур. М.: ФГБНУ ФНЦ Садоводства, 2020. 69 с.

Byadovsky I.A., Upadyshev M.T. *Clonal Micropropagation of Fruit Crops*. Moscow, FSBSO ARHCBAN Publ., 2020. 69 p. (In Russ.).

3. Гудь Л.А., Калашникова Е.А., Тараканов И.Г. Влияние света разного спектрального диапазона на морфогенез ежевики и малины *in vitro* // Лесохоз. информ. 2019. № 2. С. 97–102.

Gud' L.A., Kalashnikova E.A., Tarakanov I.G. Influence of Light of Different Spectral Range on the Morphogenesis of Blackberry and Raspberry *in vitro*. *Forestry information*, 2019, no. 2, pp. 97–102. (In Russ.). <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.2.09>

4. Калашникова Е.А. Клеточная инженерия растений М.: РГАУ–МСХА, 2012. 317 с. Kalashnikova E.A. *Plant Cellular Engineering*. Moscow, RSAU – MTAА Publ., 2012. 317 p. (In Russ.).

5. Корнев И.А., Тяк Г.В., Макаров С.С. Создание новых сортов лесных ягодных растений и перспективы их интенсивного размножения (*in vitro*) // Лесохоз. информ. 2019. № 3. С. 180–189.

Korenev I.A., Tyak G.V., Makarov S.S. Creation of New Cultivars of Forest Berry Plants and the Prospects of Their Intensive Reproduction (*in vitro*). *Forestry information*, 2019, no. 3, pp. 180–189. (In Russ.). <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.15>

6. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Смирнов В.С. Совершенствование технологии клонального микроразмножения княженики арктической (*Rubus arcticus* L.) // Лесохоз. информ. 2018. № 4. С. 91–97.

Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Smirnov V.S. Improving Technology of Clonal Micropropagation of Arctic Bramble (*Rubus arcticus* L.). *Forestry information*, 2018, no. 4, pp. 91–97. (In Russ.). <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2018.4.09>

7. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Упадышев М.Т., Родин С.А., Чудецкий А.И. Особенности клонального микроразмножения клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51, № 1. С. 67–76.

Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Upadyshev M.T., Rodin S.A., Chudetsky A.I. Clonal Micropropagation of Cranberry (*Oxycoccus palustris* Pers.). *Food Processing: Techniques and Technology*, 2021, vol. 51, iss. 1, pp. 67–76. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-67-76>

8. Сельскохозяйственная биотехнология и биоинженерия / под ред. В.С. Шевелухи. М.: URSS, 2015. 710 с.

Agricultural Biotechnology and Bioengineering. Ed. by V.S. Shevelukha. Moscow, URSS Publ., 2015. 710 p. (In Russ.).

9. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 11.02.2021 № 312-р. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/pFdqtWFH8y9SfQjDE0Xnwd8eXWoJJMYB.pdf> (дата обращения: 20.10.22).

The Strategy for the Development of the Forest Complex of the Russian Federation for the Period up to 2030: Approved by the Order of the Government of the Russian Federation Dated February 11, 2021 No. 312-p. (In Russ.).

10. Тихомиров А.А., Ушакова С.А. Научные и технологические основы формирования фототрофного звена биолого-технических систем жизнеобеспечения. Красноярск: Сиб. гос. аэрокосм. ун-т им. акад. М.Ф. Решетнева, 2016. 200 с.

Tikhomirov A.A., Ushakova S.A. *Scientific and Technological Foundations for the Formation of a Phototrophic Link in Biological and Technical Life Support Systems*. Krasnoyarsk, SibSAU Publ., 2016. 200 p. (In Russ.).

11. Тяк Г.В., Курлович Л.Е., Тяк А.В. Биологическая рекультивация выработанных торфяников путем создания посадок лесных ягодных растений // Вестн. Казан. ГАУ. 2016. Т. 11, № 2(40). С. 43–46.

Tyak G.V., Kurlovich L.E., Tyak A.V. Biological Recultivation of Degraded Peatlands by Creating Forest Berry Plants. *Vestnik of Kazan State Agricultural University*, 2016, vol. 11, no. 2(40), pp. 43–46. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/20633>

12. Упадышев М.Т. Спектральный состав света при микроразмножении растений родов *Rubus* и *Sorbus* // Докл. РАСХН. 2002. № 6. С. 16–19.

Upadyshev M.T. Spectrum Composition of Light at Microinultiplication of Plants in Species *Rubus* and *Sorbus*. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*, 2002, no. 6, pp. 16–19. (In Russ.).

13. Упадышев М.Т. Действие света разного спектрального состава при микроразмножении плодовых и ягодных культур // Актуальная биотехнология. 2018. № 3(26). С. 521.

Upadyshev M.T. Effect of Light of Different Spectral Composition during Micropropagation of Fruit and Berry Crops. *Aktual'naya biotekhnologiya*, 2018, no. 3(26), p. 521. (In Russ.).

14. Anderson W.C. Propagation of Rhododendrons by Tissue Culture. 1. Development of a Culture Medium for Multiplication of Shoots. *Proceedings of the International Plant Propagator's Society*, 1975, vol. 25, pp. 129–135.

15. Bussi eres J., Rochefort L., Lapointe L. Cloudberry Cultivation in Cutover Peatland: Improved Growth on Less Decomposed Peat. *Canadian Journal of Plant Science*, 2015, vol. 95, no. 3, pp. 479–489. <https://doi.org/10.4141/cjps-2014-299>

16. Cope K., Bugbee B. Spectral Effects of Three Types of White Light-Emitting Diodes on Plant Growth and Development: Absolute versus Relative Amounts of Blue Light. *HortScience*, 2013, vol. 48, iss. 4, pp. 504–509. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.4.504>

17. Hung C.D., Hong C.-H., Kim S.-K., Lee K.-H., Park J.-Y., Nam M.-W., Choi D.-H., Lee H.-I. LED Light for *in vitro* and *ex vitro* Efficient Growth of Economically Important Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 2016, vol. 38, art. 152. <https://dx.doi.org/10.1007/s11738-016-2164-0>

18. Kang J.H., Kumar S.K., Atulba S.L.S., Jeong B.R., Hwang S.J. Light Intensity and Photoperiod Influence the Growth and Development of Hydroponically Grown Leaf Lettuce in a Closed-Type Plant Factory System. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 2013, vol. 54, iss. 6, pp. 501–509. <https://doi.org/10.1007/s13580-013-0109-8>

19. Lloyd G.B., McCown B.H. Commercially-Feasible Micropropagation of Mountain Laurel, *Kalmia latifolia*, by Use of Shoot-Tip Culture. *Combined Proceeding. International Plant Propagators' Society*, 1980, vol. 30, pp. 421–427.

20. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Chudetsky A.I., Rodin S.A. Obtaining High-Quality Planting Material of Forest Berry Plants by Clonal Micropropagation for Restoration of Cutover Peatlands. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2021, no. 2, pp. 21–29. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-2-21-29>

21. Murashige T., Skoog F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*, 1962, vol. 15, iss. 3, pp. 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>

22. Noormets M., Karp K., Paal T. Recultivation of Opencast Peat Pits with Vaccinium Culture in Estonia. *WIT Transactions on Ecology and the Environment. Vol. 64: Ecosystems and Sustainable Development IV*, 2003, vol. 2, pp. 1005–1014. <https://doi.org/10.2495/ECO030242>

23. Palozzi J.E. *Peatland Plant-Soil Feedbacks Dictate Ecosystem Properties and Processes*. Electronic Thesis and Dissertation Repository. Canada, 2017. 86 p. Available at: <https://ir.lib.uwo.ca/etd/4511> (accessed 25.03.21).

24. *Production of Berries in Peatlands*. Peatland Ecology Research Group. Guide Produced under the Supervision of Line Rochefort and Line Lapointe. Quebec, Université Laval, 2009. 134 p.

25. Vahejõe K., Albert T., Noormets M., Karp K., Paal T., Starast M., Värnik R. Berry Cultivation in Cutover Peatlands in Estonia: Agricultural and Economical Aspects. *Baltic Forestry*, 2010, vol. 16, no. 2(31), pp. 264–272.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest