

УДК 57.084.1:634.73:581.151

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ У АДАПТАНТОВ *VACCINIUM CORYMBOSUM* L. *EX VITRO* ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ОСВЕЩЕНИЯ

М. П. ФЕДОРЕНКО¹⁾, А. А. ВОЛОТОВИЧ²⁾, О. А. КУДРЯШОВА³⁾

¹⁾Полесский государственный университет, ул. Днепровской флотилии, 23, 225710, г. Пинск, Беларусь

²⁾Крестьянско-фермерское хозяйство «Бокша», ул. Бахарева, 24А, 225133, г. Пружаны, Беларусь

³⁾«Беломнимед», пер. 1-й Твердый, 5, 220037, г. Минск, Беларусь

Представлены результаты сравнительного анализа изменчивости биопродукционных параметров роста растений сортов Блюкроп и Элизабет голубики высокой *ex vitro* в условиях люминесцентного и светодиодного освещения. Обеспечение оптимального спектрального состава излучения, реализуемое с помощью оригинального светодиодного светильника, чаще приводит к достоверному (при $p < 0,01$ и $p < 0,05$) повышению в 1,1–1,6 раза показателей всех анализируемых признаков у адаптантов сортовой голубики высокой.

Ключевые слова: клональное микроразмножение; светодиодное освещение; голубика высокая; адаптация *ex vitro*; Блюкроп; Элизабет.

ANALYSIS OF VARIABILITY OF QUANTITATIVE TRAITS OF *VACCINIUM CORYMBOSUM* L. *EX VITRO* UNDER DIFFERENT LIGHTING MODES

M. P. FEDORENKO^a, A. A. VOLOTOVICH^b, O. A. KUDRYASHOVA^c

^aPolesky State University, 23 Dniaproŭskaj Flatyl'ii Street, Pinsk 225710, Belarus

^bPeasant Farm «Boksha», 24A Bacharava Street, Pružany 225133, Belarus

^c«Belomnimed», 5 First Cviordy Side Street, Minsk 220037, Belarus

Corresponding author: M. P. Fedorenko (marta.vod@yandex.ru)

The article presents the results of studies on the comparative analysis of bioproductional parameters of plant growth of Bluecrop and Elizabeth high-bush blueberry *ex vitro* under the conditions of fluorescent and LED lighting. Ensuring the optimal spectral composition of radiation, realized with the original LED light, led to a significant increase at 1.1–1.6 times in all of the analyzed growth parameters in high-bush blueberry *ex vitro* plants.

Keywords: clonal micropropagation; LED lighting; high-bush blueberry; *ex vitro*; Bluecrop; Elizabeth.

Образец цитирования:

Федоренко МП, Волотович АА, Кудряшова ОА. Анализ изменчивости количественных признаков у адаптантов *Vaccinium corymbosum* L. *ex vitro* при разных условиях освещения. Журнал Белорусского государственного университета. Биология. 2019;2:22–28.
<https://doi.org/10.33581/2521-1722-2019-2-22-28>

For citation:

Fedorenko MP, Volotovich AA, Kudryashova OA. Analysis of variability of quantitative traits of *Vaccinium corymbosum* L. *ex vitro* under different lighting modes. Journal of the Belarusian State University. Biology. 2019;2:22–28. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-1722-2019-2-22-28>

Авторы:

Марта Петровна Федоренко – аспирантка кафедры биотехнологии биотехнологического факультета. Научный руководитель – А. А. Волотович.

Антон Анатольевич Волотович – кандидат биологических наук, доцент; заведующий лабораторией.

Оксана Александровна Кудряшова – кандидат биологических наук; ведущий научный сотрудник.

Authors:

Marta P. Fedorenko, postgraduate student at the department of biotechnology, faculty of biotechnology.

marta.vod@yandex.ru

Anthony A. Volotovich, PhD (biology), docent; head of the laboratory.

volant777@tut.by

Oksana A. Kudryashova, PhD (biology); leading researcher.

pixies@tut.by

Введение

Свет является одним из основных средообразующих факторов для растений [1]. На жизнедеятельность последних определенным спектральный состав света оказывает всестороннее влияние: участвует в процессах фотосинтеза, играет регуляторную роль при прорастании семян, цветении, созревании плодов, фотоморфогенезе, фототропизме и др. Диапазон физиологической радиации, поглощаемой пигментами листьев зеленых растений, составляет 350–750 нм (более половины всего излучения Солнца). В пределах физиологической радиации выделяется область фотосинтетически активной радиации (380–710 нм), имеющая два основных максимума поглощения пигментами листьев зеленых растений: 660–690 и 420–480 нм. Именно эти диапазоны обладают наибольшей эффективностью при искусственном освещении [2; 3].

При постоянно возрастающих ценах на энергоресурсы выращивание растений в условиях лабораторий, оранжерей и закрытого грунта требует выбора современных, энергоэффективных источников освещения, таких как, например, светодиоды. С их помощью можно создавать освещение с определенным спектральным составом под конкретные виды растений и стадии их развития [4; 5]. Основными причинами, тормозящими внедрение светодиодов в тепличное освещение, являются как их стоимость, так и обусловленное заменой источника света изменение (корректировка) всей технологии выращивания, включающей систему питания растений, потребление углекислого газа, поддержание определенного температурного режима [6]. При выращивании растений в условиях лабораторий, в том числе с использованием метода клонального микроразмножения *in vitro*, где традиционным источником света чаще всего являются люминесцентные лампы, сдерживающих факторов на пути внедрения светодиодов меньше. Для таких лабораторий характерны стеллажные конструкции, и использование светодиодов позволяет экономить электроэнергию, умножать полезную площадь за счет уменьшения расстояния между источником света и растительным материалом, увеличивать выход посадочного материала с единицы площади [7; 8]. Обеспечение оптимального спектрального состава и интенсивности освещения – важнейший фактор, влияющий на успешную адаптацию и рост растений в условиях *ex vitro*.

Цель данной работы – сравнительный анализ изменчивости биопродукционных параметров у микроразмноженных растений голубики высокой в процессе их адаптации к условиям роста *ex vitro* при использовании светодиодного и люминесцентного освещения.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили на базе научно-исследовательской лаборатории клеточных технологий в растениеводстве биотехнологического факультета Полесского государственного университета (ПолесГУ). В качестве объекта исследований использовали укорененные в культуре *in vitro* внешне однотипные регенеранты голубики высокой *Vaccinium corymbosum* L. среднеспелого сорта Блюкроп (Bluecrop) и позднеспелого сорта Элизабет (Elizabeth). Укорененные *in vitro* регенеранты в количестве 40 шт. высаживали в прозрачные пластиковые контейнеры объемом 1,5 л, заполненные на 1/3 грунтом, который представляет собой смесь верхового торфа и карьерного песка в соотношении 1 : 1. Контейнер закрывали прозрачной пластиковой крышкой в целях создания условий влажной камеры и культивировали растения на стеллажах адаптационного помещения (изолированные отсеки объемом по 0,45 м³) под источниками светодиодного (мощность 50 Вт; соотношение красного и синего в спектре 1,8 : 1,0; плотность потока фотонов в области ФАР 60–70 мкмоль/(м² · с)) и люминесцентного освещения (OSRAM Natura L36W/76; мощность 74 Вт; CCT = 3500 К; соотношение красного и синего в спектре 2,2 : 1,0; плотность потока фотонов в области ФАР 50–60 мкмоль/(м² · с)), с фотопериодом 16 ч (день) / 8 ч (ночь) при температуре +25 °С и относительной влажности воздуха 82 %. За регенерантами *ex vitro* осуществляли ежедневный уход: полив (опрыскивание) и проветривание на протяжении 1 ч.

Вышеуказанный светодиодный источник был разработан авторами на базе биотехнологического факультета ПолесГУ для освещения посадочного материала голубики высокой, основываясь на опыте предыдущих разработок и испытаний [4; 5; 7–9]. Замер плотности потока фотонов в области ФАР и спектрального состава излучения проводили на базе испытательной лаборатории Центра светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси. Превышение значения плотности потока фотонов в области ФАР у светодиодного источника, по сравнению с люминесцентным, является незначительным, в то время как спектральный состав излучения светодиодного источника характеризуется большей долей синей области и другим составом красной области спектра.

Анализировали жизнеспособность растений, изменчивость их высоты, количества листьев и растений с побегами, высоты побегов, числа листьев на побегах, массы растений с корнями, длины корней (для сорта Блюкроп). Замеры анализируемых признаков проводили на 0, 14, 28, 42, 56 и 65-й дни культивирования *ex vitro*. Опыт осуществляли в двукратной биологической повторности.

Общий математический анализ данных проводили по стандартным методам вариационной статистики [10] с использованием программы статистического анализа данных *Statistica 6.0* [11]. Дисперсионный анализ и расчет доли влияния факторов на изменчивость исследуемых показателей выполняли с помощью программы статистического анализа *AB-Stat 1.0*, разработанной в Институте генетики и цитологии НАН Беларуси [12].

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ изменчивости прироста высоты растений сорта Элизабет на 42-й и 56-й дни выявил достоверное при $p < 0,01$ превышение этого показателя в 1,10–1,14 раза при светодиодном освещении (рис. 1), у растений сорта Блюкроп также наблюдали достоверное при $p < 0,01$ и $p < 0,05$ превышение в среднем в 1,2 раза на 28-й и 56-й дни культивирования *ex vitro*. Показатель прироста количества листьев у растений двух сортов также был достоверно (в большинстве случаев при $p < 0,01$) выше на 42-й и 56-й дни при светодиодном освещении: для сорта Элизабет – в 1,15–1,23 раза (рис. 1), для сорта Блюкроп – в 1,13–1,17 раза (рис. 2). Аналогичные результаты по данным признакам были получены в наших предыдущих исследованиях с использованием источников освещения меньшей мощности [4; 5; 7–9], а также в исследованиях других авторов [13; 14].

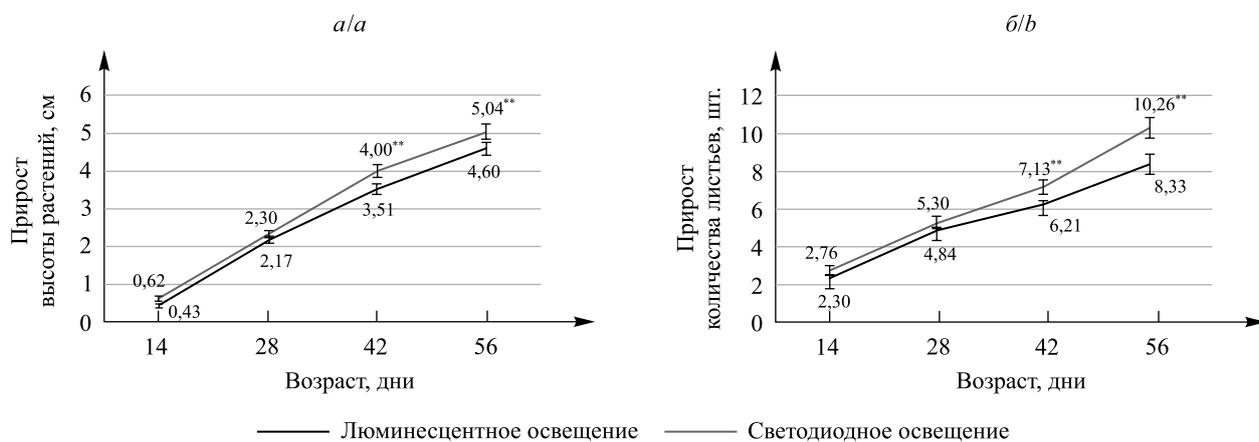


Рис. 1. Изменчивость прироста высоты (а) и прироста количества листьев (б) у растений *Vaccinium corymbosum* L. сорта Элизабет *ex vitro* (критерий сравнения – тип освещения).
* – достоверно отличается при $p < 0,05$; ** – при $p < 0,01$

Fig. 1. Variability of height increase (a) and increase in the number of leaves (b) in plants of Elizabeth *Vaccinium corymbosum* L. *ex vitro* (comparison criterion – type of lighting).
* – significantly different at $p < 0,05$; ** – at $p < 0,01$

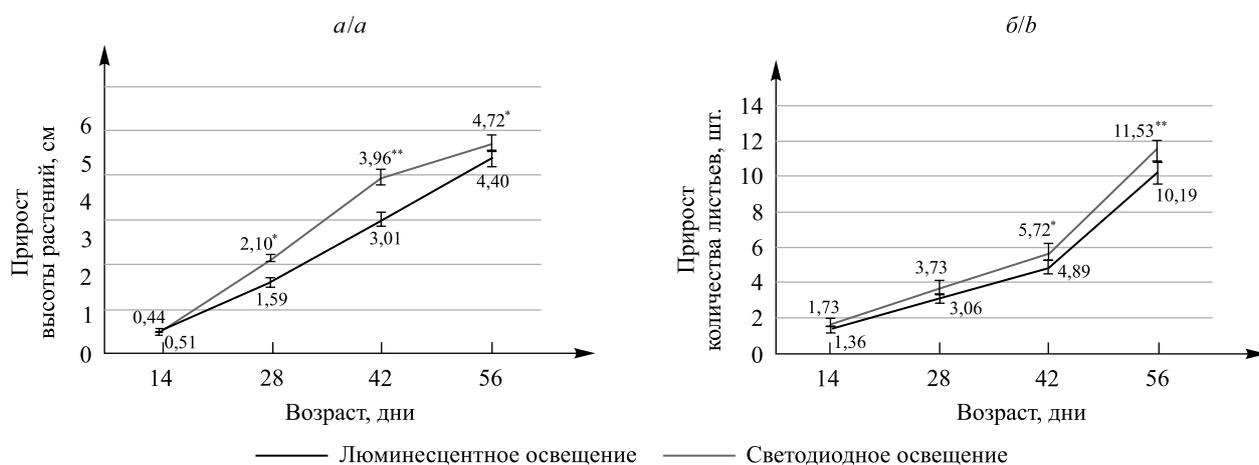


Рис. 2. Изменчивость прироста высоты (а) и прироста количества листьев (б) у растений *Vaccinium corymbosum* L. сорта Блюкроп *ex vitro* (критерий сравнения – тип освещения).
* – достоверно отличается при $p < 0,05$; ** – при $p < 0,01$

Fig. 2. Variability of height increase (a) and increase in the number of leaves (b) in plants of Bluecrop *Vaccinium corymbosum* L. *ex vitro* (comparison criterion – type of lighting).
* – significantly different at $p < 0,05$; ** – at $p < 0,01$

Количество растений с побегами при светодиодном освещении на 56-й день для сорта Элизабет было достоверно ($p < 0,01$) выше в 1,61 раза, для сорта Блюкроп наблюдали тенденцию к повышению в 1,19 раза (табл. 1). Увеличение показателя данного признака говорит о влиянии спектра светодиодного источника на активацию пазушных почек, что выражается в более раннем и, соответственно, более быстром развитии боковых побегов, о чем свидетельствуют также показатели высоты побегов и количества листьев у побегов при светодиодном освещении. Так, показатели высоты побегов и количества листьев у побегов были достоверно (в большинстве случаев при $p < 0,05$) выше под светодиодами. Высота побегов была больше в 1,33 и 1,50 раза, а количество листьев у побегов – в 1,17 и 1,09 раза выше у сортов Блюкроп и Элизабет соответственно (см. табл. 1).

Показатели сырой массы растений с корнями на 65-й день также были достоверно ($p < 0,01$) выше при светодиодном освещении: в 1,5 раза – для сорта Блюкроп и в 1,2 раза – для сорта Элизабет (см. табл. 1). Вероятно, это может быть связано с влиянием спектрального состава светодиодных источников на водный обмен растений. Так, по данным некоторых исследователей, оптимизированный спектральный состав света таких источников приводит к снижению скорости дегидратации и повышению времени сохранения стабильного тургора тканей листа голубики высокой [13; 14], что, в свою очередь, указывает на способность клеток поддерживать водный баланс и стабильность системы в целом.

Таблица 1

Изменчивость количественных показателей у растений сортовой голубики высокой *ex vitro* при разных условиях освещения

Table 1

The variability of quantitative traits of high-bush blueberries plants *ex vitro* under different lighting modes

Параметр	Количество растений с побегами, шт.	Высота побега, см	Количество листьев у побега, шт.	Сырая масса растения с корнями, мг	Длина корней ^a , см
Блюкроп					
Тип освещения: люминесцентное светодиодное	27,00 ± 5,00 32,00 ± 1,00	4,51 ± 0,37 5,99 ± 0,40*	6,26 ± 0,33 7,31 ± 0,31**	227,34 ± 18,00 331,43 ± 22,37**	3,79 ± 0,31 5,28 ± 0,37**
Фактор В: НСР _{0,05} НСР _{0,01}	8,42 15,50	1,35 2,49	0,33 0,61	15,21 27,99	0,11 0,42
Элизабет					
Тип освещения: люминесцентное светодиодное	18,00 ± 0,00 29,00 ± 2,00*	3,71 ± 0,36 5,58 ± 0,41*	6,25 ± 0,28 6,84 ± 0,27*	315,58 ± 22,83 378,88 ± 27,51**	– –
Фактор А: НСР _{0,05} НСР _{0,01}	8,42 15,50	1,35 2,49	0,33 0,61	15,21 27,99	– –
Фактор В: НСР _{0,05} НСР _{0,01}	8,42 15,50	1,35 2,49	0,33 0,61	15,21 27,99	– –
Частные средние: НСР _{0,05} НСР _{0,01}	11,91 21,93	1,91 3,52	0,47 0,86	21,50 39,58	– –

Примечание. Данные представлены как среднее арифметическое ± стандартная ошибка средней. ^aТолько для сорта Блюкроп. Факторы: А – сорт; В – тип освещения. НСР_{0,05} – наименьшая существенная разница при $p < 0,05$; НСР_{0,01} – наименьшая существенная разница при $p < 0,01$. Полуужирным шрифтом выделены значения, достоверно различающиеся по фактору В: * – при $p < 0,05$; ** – при $p < 0,01$.

У растений *ex vitro* сорта Блюкроп замеряли длину корней. Разница в развитии корневой системы при освещении люминесцентными и светодиодными лампами при визуальном контроле была значительна (рис. 3). Так, показатель длины корней для сорта Блюкроп был достоверно ($p < 0,01$) в 1,4 раза выше при светодиодном освещении (см. табл. 1). Исследования [15–19] указывают на восприятие корневой системой света через фоторецепторы семейства фитохрома, которые, поглощая свет в красном

и дальнем красном диапазонах, активируют сигнальные молекулы, влияющие на рост и развитие корней. Хорошо развитая корневая система является важной составляющей при доращивании растений сортовой голубики высокой после адаптации *ex vitro*, а также на следующем этапе – при пересадке в мультитраты или небольшие отдельные горшочки. Можно отметить, что за 65 дней культивирования *ex vitro* растения достигли той стадии развития и размеров, которые позволяют осуществить их пересадку в мультитраты, что и было сделано.



Рис. 3. Корневая система растений голубики высокой сорта Блюкроп после 65 дней культивирования *ex vitro* при светодиодном (а) и люминесцентном (б) освещении

Fig. 3. Bluecrop high-bush blueberry plant root system after 65 days of *ex vitro* cultivation with LED (a) and fluorescent (b) lighting

Трехфакторный дисперсионный анализ выявил достоверное при $p < 0,05$ влияние типа освещения на изменчивость показателей прироста высоты растений и количества листьев, при этом доля такого влияния составила 1,2 и 1,9 % соответственно. Обнаружена также достоверная зависимость изменчивости названных выше признаков от возраста растений (табл. 2). Двухфакторный дисперсионный анализ выявил достоверное при $p < 0,05$ влияние типа освещения на изменчивость показателей высоты побегов и количества листьев у побегов с долей влияния 64,2 и 66,1 % соответственно, а также достоверное при $p < 0,01$ влияние на изменчивость показателя сырой массы растений с корнями и длину корней у сорта Блюкроп с долей влияния фактора 47,6 и 42,8 % соответственно (табл. 3).

Таблица 2

Трехфакторный дисперсионный анализ изменчивости количественных показателей у растений голубики высокой *ex vitro* при разных условиях освещения

Table 2

Three-factor analysis of variance of quantitative traits variability of high-bush blueberry plants *ex vitro* under different lighting modes

Источник варьирования	df	Жизнеспособность растений		df	Прирост ВР		Прирост КЛ	
		СК	ДВ, %		СК	ДВ, %	СК	ДВ, %
Общее	39	2,240	–	31	2,763	–	10,173	–
Фактор А	1	1,406	1,610	1	0,392	0,457	3,007	0,954
Фактор В	1	1,406	1,610	1	1,044*	1,219	5,908*	1,873
Фактор А × В	1	3,906	4,472	1	0,022	0,026	0,025	0,008
Фактор С	4	4,844	22,182	3	26,895**	94,215	93,117**	88,580
Фактор А × С	4	0,625	2,862	3	0,044	0,155	4,255**	4,048
Фактор В × С	4	0,625	2,862	3	0,119	0,418	0,595	0,566
Фактор А × В × С	4	2,334	10,733	3	0,048	0,166	0,049	0,047
Повторности	1	0,156	0,179	1	0,987	1,153	1,661	0,527
Случайные отклонения	19	2,459	53,488	15	0,125	2,191	0,714	3,398

Примечание. df – число степеней свободы; СК – средний квадрат; ДВ – доля влияния фактора; * – значимо при $p < 0,05$; ** – значимо при $p < 0,01$. Показатели: ВР – высота растений, КЛ – количество листьев. Факторы: А – сорт голубики высокой (Элизабет, Блюкроп); В – тип освещения (люминесцентное, светодиодное); С – возраст растений (14, 28, 42, 56 дней адаптации *ex vitro*).

Двухфакторный дисперсионный анализ изменчивости количественных показателей у растений сортовой голубики высокой *ex vitro* разного возраста при разных условиях освещения

Table 3

Two-factor analysis of variance of the quantitative traits variability in plants of different ages high-bush blueberry *ex vitro* under different lighting modes

Источник варьирования	df	Количество растений с побегами		Высота побега		Количество листьев у побега		Сырая масса растения с корнями		Длина корней	
		СК	ДВ, %	СК	ДВ, %	СК	ДВ, %	СК	ДВ, %	СК	ДВ, %
Общее	7	39,714	–	1,374	–	0,303	–	4159,301	–	1,684	–
Фактор А	1	72,000	25,90	0,714	7,42	0,099	4,66	9405,061**	32,30	2,161**	42,78
Фактор В	1	128,000	46,04	6,178*	64,22	1,403**	66,08	13 869,061**	47,64	–	–
Фактор А × В	1	18,000	6,47	0,033	0,34	0,138	6,49	867,361*	2,98	–	–
Повторности	1	18,000	6,47	1,611	16,75	0,419	19,72	4836,365	16,61	2,890	57,22
Случайные отклонения	3	14,000	15,11	0,362	11,27	0,022	3,05	45,625	0,47	0,000	0,00

Примечание. df – число степеней свободы; СК – средний квадрат; ДВ – доля влияния фактора; * – значимо при $p < 0,05$; ** – значимо при $p < 0,01$. Факторы: А – сорт (Элизабет, Блюкроп); В – тип освещения (люминесцентное, светодиодное).

Заключение

Применение светодиодного освещения с заданными параметрами приводит к увеличению (в подавляющем большинстве случаев достоверному при $p < 0,01$ и $p < 0,05$) всех анализируемых биопродукционных параметров через 56–65 дней культивирования *ex vitro*. Таким образом, спектральный состав источника светодиодного освещения, энергопотребление которого в 1,4 раза ниже, чем у люминесцентного, обеспечивает: максимальный прирост высоты растений, достоверно ($p < 0,01$) превышающий в 1,1 раза показатели в контроле, без излишнего вытягивания или укорочения междоузлий; развитие достоверно ($p < 0,01$) большего в 1,2 раза количества почек и стимуляцию роста боковых побегов. Число растений с побегами на 56-й день культивирования при светодиодном освещении, по сравнению с люминесцентным, в среднем в 1,4 раза больше.

Библиографические ссылки

1. Конев СВ. *Фотобиология*. Минск: БГУ; 1979. 384 с.
2. Клешнин АФ. *Растение и свет*. Москва: Академия наук СССР; 1954. 456 с.
3. Шульгин ИА. *Растение и солнце*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1973. 252 с.
4. Водчиц МП, Глеб ЕП, Гук ЕС, Кудряшова ОА, Волотович АА. Ускорение роста и развития растений *Rhododendron luteum* Sweet *in vivo* с использованием оригинальной установки освещения на основе светодиодов. В: *Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси. Материалы IV Международной молодежной научно-практической конференции; 9 апреля 2010 г.; Пинск, Беларусь. Часть III*. Пинск: ПолесГУ; 2010. с. 256–258.
5. Кудряшова ОА, Волотович АА, Герасимович ТВ, Кудряшов АА, Корнейчик ВЛ. Ускорение роста и развития регенерантов *Vaccinium corymbosum* L. *in vitro* с использованием установки освещения на основе светодиодов. *Весті НАН Беларусі. Серыя біялагічных навук*. 2011;2:114–117.
6. Юсупов С, Червинский М, Ильина Е. Создание эффективных светодиодных фитосветильников. *Полупроводниковая светотехника*. 2016;6:56–64.
7. Кудряшова ОА, Герасимович ТВ, Волотович АА, Сеньковец ТА. Сравнительный анализ изменчивости высоты и коэффициента размножения регенерантов *Vaccinium corymbosum* L. *in vitro* при разных условиях освещения. *Вестник Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук*. 2010;2:27–32.
8. Водчиц МП, Беда ИО, Власовец МА, Кудряшова ОА, Волотович АА. Ускорение регенерации голубики высокой *Vaccinium corymbosum* L. *in vitro* с использованием опытного образца нового светодиодного светильника. В: *Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси Материалы V Международной молодежной научно-практической конференции; 31 марта 2011 г.; Пинск, Беларусь. Часть III*. Пинск: ПолесГУ; 2011. с. 225–227.
9. Федоренко МП, Волотович АА. Влияние LED-освещения на рост растений *Vaccinium corymbosum* L. *ex vitro*. В: *Биотехнология: достижения и перспективы развития. Сборник материалов II Международной научно-практической конференции; 7–8 декабря 2017 г.; Пинск, Беларусь*. Пинск: ПолесГУ; 2017. с. 43–45.
10. Доспехов БА. *Методика полевого опыта*. Москва: Агропромиздат; 1985. 350 с.
11. Боровиков ВП. *STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере*. Санкт-Петербург: Питер; 2001. 688 с.

12. Аношенко БЮ. Программы анализа и оптимизации селекционного процесса растений. В: *Генетика. Материалы I-го съезда Вавиловского общества генетиков и селекционеров; 20–25 декабря 1994 г.; Саратов, Россия. Том 30 (приложение)*. Москва: Наука; 1994. с. 8–9.
13. Куделина ТН, Мороз ДС, Васина ЕВ. Особенности культивирования экплантов голубики (*Vaccinium corymbosum*) при светодиодном освещении. В: *Научные стремления – 2012. Сборник материалов III Международной молодежной научно-практической конференции; 6–9 ноября 2012 г.; Минск, Беларусь. Том 1*. Минск: Белорусская наука; 2012. с. 259–263.
14. Зубей ЕС, Куделина ТН, Обуховская ЛВ. Особенности развития *in* и *ex vitro* микроклонально размноженных растений голубики *Vaccinium corymbosum* L. при освещении различного спектрального состава. В: *Теория и практика современного ягодоводства: от сорта до продукта. Материалы Международной научной конференции; 16–18 июля 2014 г.; агрогородок Самохваловичи, Беларусь*. Самохваловичи: Институт плодородия; 2014. с. 143–149.
15. Hyo-Jun Lee, Jun-Ho Ha, Sang-Gyu Kim, Han-Kyu Choi, Zee Hwan Kim, Yun-Jeong Han, et al. Stem-piped light activates phytochrome B to trigger light responses in *Arabidopsis thaliana* roots. *Science Signaling*. 2016;9(452):ra106. DOI: 10.1126/scisignal.aaf6530.
16. Dyachok J, Zhu L, Liao F, He J, Huq E, Blancaflor EB. SCAR mediates light-induced root elongation in *Arabidopsis* through photoreceptors and proteasomes. *Plant Cell*. 2011;23(10):3610–3626. DOI: 10.1105/tpc.111.088823.
17. Warnasooriya SN, Montgomery BL. Spatial-specific regulation of root development by phytochromes in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Signal Behavior*. 2011;6(12):2047–2050. DOI: 10.4161/psb.6.12.18267.
18. Salisbury FJ, Hall A, Grierson CS, Halliday KJ. Phytochrome coordinates *Arabidopsis* shoot and root development. *Plant Journal*. 2007;50(3):429–438. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2007.03059.x.
19. Correll MJ, Kiss JZ. The roles of phytochromes in elongation and gravitropism of roots. *Plant Cell Physiology*. 2005;46(2): 317–323. DOI: 10.1093/pcp/pci038.

References

1. Konev SV. *Fotobiologiya* [Photobiology]. Минск: Belarusian State University; 1979. 384 p. Russian.
2. Kleshnin AF. *Rastenie i svet* [Plant and light]. Moscow: Akademiya nauk SSSR; 1954. 456 p. Russian.
3. Shulgin IA. *Rastenie i solntse* [Plant and sun]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1973. 252 p. Russian.
4. Vodchits MP, Gleb EP, Guk ES, Kudryashova OA, Volotovich AA. [Accelerating the growth and development of plants *Rhododendron luteum* Sweet *in vivo* using the original an LED based installation of lighting]. In: *Nauchnyi potentsial molodezhi – budushchemu Belarusi. Materialy IV Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii; 9 aprelya 2010 g.; Pinsk, Belarus'. Chast' III*. Pinsk: PolesGU; 2010. p. 256–258. Russian.
5. Kudryashova OA, Volotovich AA, Gerasimovich TV, Kudryashov AA, Korneychik VL. [Accelerating the growth and development of *Vaccinium corymbosum* L. regenerants *in vitro* using an LED based lighting installation]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*. 2011;2:114–117. Russian.
6. Yusupov S, Chervinskiy M, Ilina E. [Creating an effective LED phytolamp]. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*. 2016;6:56–64. Russian.
7. Kudryashova OA, Gerasimovich TV, Volotovich AA, Senkovets TA. Comparative analysis of height and reproduction factor variabilities of *Vaccinium corymbosum* L. shoots *in vitro* under different conditions of illumination. *Bulletin of Palesky State University. Series in natural sciences*. 2010;2:27–32. Russian.
8. Vodchits MP, Beda IO, Vlasovets MA, Kudryashova OA, Volotovich AA. [Acceleration of the regeneration of *Vaccinium corymbosum* L. *in vitro* using a prototype of a new LED lamp]. In: *Nauchnyi potentsial molodezhi – budushchemu Belarusi. Materialy V Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii; 31 marta 2011 g.; Pinsk, Belarus. Chast' III*. Pinsk: PolesGU; 2011. p. 225–227. Russian.
9. Fedorenko MP, Volotovich AA. [The effect of LED lighting on plant growth *Vaccinium corymbosum* L. *ex vitro*. In: *Biotekhnologiya: dostizheniya i perspektivy razvitiya. Sbornik materialov II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii; 7–8 dekabrja 2017 g.; Pinsk, Belarus'*. Pinsk: PolesGU; 2017. p. 43–45. Russian.
10. Dospheov BA. *Metodika polevogo opyta* [Field experience]. Moscow: Agropromizdat; 1985. 350 p. Russian.
11. Borovikov VP. *STATISTICA: Iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere* [STATISTICA: The art of analyzing data on a computer]. Saint Petersburg: Piter; 2001. 688 p. Russian.
12. Anoshenko BYu. [Program analysis and optimization of the plant breeding process]. In: *Генетика. Материалы I-ого съезда Вавиловского общества генетиков и селекционеров; 20–25 декабря 1994 г.; Саратов, Россия. Том 30 (приложение)*. Москва: Наука; 1994. с. 8–9. Russian.
13. Kudelina TN, Moroz DS, Vasina EV. [Peculiarities of cultivation of blueberry explants (*Vaccinium corymbosum*) under LED lighting]. In: *Научные стремления – 2012. Сборник материалов III Международной молодежной научно-практической конференции; 6–9 ноября 2012 г.; Минск, Беларусь. Том 1*. Минск: Белорусская наука; 2012. с. 259–263. Russian.
14. Zubey ES, Kudelina TN, Obukhovskaya LV. [Peculiarities of the development of *in vitro* and *ex vitro* microclonally propagated blueberry plants of *Vaccinium corymbosum* L. when illuminated with different spectral composition]. In: *Теория и практика современного ягодоводства: от сорта до продукта. Материалы Международной научной конференции; 16–18 июля 2014 г.; агрогородок Самохваловичи, Беларусь'*. Самохваловичи: Институт плодородия; 2014. с. 143–149. Russian.
15. Hyo-Jun Lee, Jun-Ho Ha, Sang-Gyu Kim, Han-Kyu Choi, Zee Hwan Kim, Yun-Jeong Han, et al. Stem-piped light activates phytochrome B to trigger light responses in *Arabidopsis thaliana* roots. *Science Signaling*. 2016;9(452):ra106. DOI: 10.1126/scisignal.aaf6530.
16. Dyachok J, Zhu L, Liao F, He J, Huq E, Blancaflor EB. SCAR mediates light-induced root elongation in *Arabidopsis* through photoreceptors and proteasomes. *Plant Cell*. 2011;23(10):3610–3626. DOI: 10.1105/tpc.111.088823.
17. Warnasooriya SN, Montgomery BL. Spatial-specific regulation of root development by phytochromes in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Signal Behavior*. 2011;6(12):2047–2050. DOI: 10.4161/psb.6.12.18267.
18. Salisbury FJ, Hall A, Grierson CS, Halliday KJ. Phytochrome coordinates *Arabidopsis* shoot and root development. *Plant Journal*. 2007;50(3):429–438. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2007.03059.x.
19. Correll MJ, Kiss JZ. The roles of phytochromes in elongation and gravitropism of roots. *Plant Cell Physiology*. 2005;46(2): 317–323. DOI: 10.1093/pcp/pci038.

Статья поступила в редколлегию 11.04.2019.
Received by editorial board 11.04.2019.