



Біялогія

Батаніка

УДК 57.084.1:581.151:634.73:547-314

М. П. Федоренко, А. А. Волотович, О. А. Кудряшова

ЭФФЕКТЫ 24-ЭПИБРАССИНОЛИДА НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У АДАПТАНТОВ СОРТА БЛЮКРОП *VACCINIUM CORYMBOSUM* L. В УСЛОВИЯХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО И СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Во введении представлены преимущества использования светодиодного освещения, а также возможности применения brassinosterоидов для повышения устойчивости растений к стрессовым факторам, ускорения роста и развития растений. Цель исследований – изучение эффектов воздействия светодиодного и люминесцентного освещения в сочетании с обработкой 24-эпибрассинолидом в разных дозах на морфометрические параметры роста растений голубики высокой сорта *Bluecrop ex vitro*. Объект исследований – размноженные и укорененные в культуре *in vitro* растения голубики высокой сорта *Bluecrop*, находящиеся на этапе адаптации к условиям роста *ex vitro*. В основной части приведены методика исследований, анализируемые признаки для оценки влияния исследуемых факторов, представлены статистически обработанные данные, указывающие на достоверность и степень влияния исследуемых факторов на изменчивость анализируемых признаков. На основании полученных данных установлено, что обработка адаптантов 24-эпибрассинолидом в дозах 0,25 и 0,75 мкг/растение в условиях люминесцентного освещения приводит к достоверному при $P < 0,01$ увеличению высоты и прироста высоты растений в 1,1–1,2 раза, а также длины корней при дозе 24-эпибрассинолида 0,75 мкг/растение – в 1,5 раза. Применение 24-эпибрассинолида в дозах 0,25 и 0,75 мкг/растение в сочетании со светодиодным освещением чаще оказывало ингибирующее в 1,1–1,3 раза, достоверное при $P < 0,05$ и $P < 0,01$, действие на изменчивость показателей анализируемых признаков. Самые высокие показатели изменчивости большинства анализируемых признаков получены при использовании светодиодного освещения без обработки 24-эпибрассинолидом, при этом значения были достоверно при $P < 0,05$ и $P < 0,01$ выше в 1,1–1,6 раза таковых под люминесцентными лампами как при самостоятельном их использовании, так и в сочетании с 24-эпибрассинолидом. В заключении указано, что полученные данные косвенно свидетельствуют о том, что применение светодиодного освещения с заданными спектрами длин волн, соответствующих максимумам поглощения фотосинтетических пигментов растений, стимулирует выработку эндогенных, предположительно brassinosterоидов, либо иных биологически активных веществ схожего с brassinosterоидами действия, приводящего к увеличению биопродукционных параметров и ускорению роста адаптантов *ex vitro*. Дополнительное

Федоренко Марта Петровна, аспирант каф. биотехнологии биотехнологического ПГУ (Беларусь); науч. рук. – А. А. Волотович, канд. биол. наук, доц., зав. лабораторией крестьянско-фермерского хозяйства «Бокша» (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Пушкина, 4, 225710, г. Пинск, Беларусь; e-mail: marta.vod@yandex.ru

Волотович Антон Анатольевич, канд. биол. наук, доц., зав. лабораторией крестьянско-фермерского хозяйства «Бокша» (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Бахарева, 24а, 225133, г. Пружаны, Беларусь; e-mail: volant777@tut.by

Кудряшова Оксана Александровна, канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник медицинского частного унитарного предприятия «Беломнимед» (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Платонова, 10, 220034, г. Минск, Беларусь; e-mail: pixies@tut.by

применение экзогенного 24-эпибрасинолида в высоких дозах (0,25 и 0,75 мкг/растение) приводит к закономерному ингибированию роста растений. К тому же использование светодиодного освещения способствует снижению затрат электроэнергии на 40 %.

Ключевые слова: клональное микроразмножение, светодиодное освещение, брассиностероиды, 24-эпибрасинолид, голубика высокая, адаптация *ex vitro*, Блюкроп.

Введение. Брассиностероиды (БС) – природные регуляторы роста растений, которые по химической природе являются производными оксистероидов с лактонной группой в кольце [1]. Они стимулируют рост пыльцевых трубок, дифференциацию ксилемы, контролируют форму листьев и рост корней, воздействуют на систему рецепции ауксинов и биосинтез этилена. БС используются в растениеводстве для повышения устойчивости растений к действию стрессовых факторов [1; 2].

Свет является одним из основных средообразующих факторов в жизни растений [3]. Определенный спектральный состав света оказывает всестороннее влияние на жизнедеятельность растений: в процессах фотосинтеза, играет регуляторную роль при прорастании семян, цветении, созревании плодов, фотоморфогенезе, фототропизме и других процессах. Область физиологической радиации, поглощаемой пигментами листьев зеленых растений, находится в диапазоне 350÷750 нм и составляет более половины всего излучения Солнца. В пределах физиологической радиации выделяется зона фотосинтетически активной радиации (380÷710 нм), имеющая два основных максимума поглощения пигментами листьев зеленых растений в областях 660÷690 и 420÷480 нм. Именно эти диапазоны обладают наибольшей эффективностью для использования в искусственном освещении растений [4; 5].

Выращивание растений в условиях лабораторий, оранжерей и закрытого грунта при постоянно возрастающих ценах на энергоресурсы требует выбора современных, энергоэффективных источников освещения, таких как, например, светодиоды. К основным преимуществам светодиодов относятся долговечность, экологичность, низкое энергопотребление, большая энергетическая эффективность, направленное излучение [6]. С помощью светодиодов возможно конструирование источников освещения с определенным спектральным составом света под конкретные виды растений и стадии их развития [7; 8]. При выращивании растений с использованием стеллажных конструкций применение светодиодных источников освещения позволяет увеличить полезную площадь за счет уменьшения расстояния между источником света и растительным материалом и при правильно подобранном спектре излучения увеличить выход посадочного материала с единицы площади [9; 10].

При получении посадочного материала микроклональным способом стадия переноса регенерантов *in vitro* в условия *ex vitro* и их адаптации к этим условиям являются критическими. Обеспечение оптимального спектрального состава и интенсивности освещения – один из важных факторов, влияющий на успешную адаптацию и рост растений в условиях *ex vitro*. Процесс адаптации растений к новым условиям культивирования, безусловно, является стрессом, поэтому применение 24-эпибрасинолида (далее – 24-ЭБ) на данном этапе, возможно, поможет повысить устойчивость растений.

Целью данной работы является анализ изменчивости биопродукционных параметров у микроклонально размноженных растений голубики высокой в процессе их адаптации к условиям роста *ex vitro* при использовании светодиодного и люминесцентного освещения в сочетании с обработкой растворами 24-эпибрасинолида.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили на базе научно-исследовательской лаборатории клеточных технологий в растениеводстве биотехнологического факультета учреждения образования «Полесский государственный университет». В качестве объекта исследований использовали укорененные в культуре *in vitro*, внешне однотипные регенеранты голубики высокой *Vaccinium corymbosum* L. среднеспелого сорта *Bluecrop*. Перед высадкой растения выдерживали в растворах 24-ЭБ концентрации 0,25÷0,75 мг/л

в течение 24 ч из расчета $0,25 \div 0,75$ мкг д.в. на 1 растение. В качестве контроля при экспозиции использовали дистиллированную воду. После экспозиции в растворах ЭБ и воде 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. Непосредственно после высадки проводили стартовые замеры высоты растений и количества листьев. Контейнеры закрывали прозрачной пластиковой крышкой с целью создания условий влажной камеры и культивировали растения на стеллажах адаптационного помещения (изолированные отсеки объемом по $0,45 \text{ м}^3$) под источниками оригинального светодиодного освещения (мощность 50 Вт, соотношение в спектре освещения «красный:синий» как 1,8:1, плотность потока фотонов в области ФАР 60–70 мкмоль/м²·с) и люминесцентного (OSRAM Natura L36W/76, мощность 74 Вт, CCT=3500 К, соотношение в спектре освещения «красный:синий» как 2,2:1, плотность потока фотонов в области ФАР 50–60 мкмоль/м²·с) с фотопериодом 16 ч день / 8 ч ночь. Растения культивировали на стеллажах адаптационного помещения при температуре +25°C и относительной влажности воздуха 82%.

За регенерантами *ex vitro* осуществляли ежедневный уход: полив/опрыскивание и проветривание на протяжении 1 ч, обработку растений рабочими растворами 24-эпибрассинолида с концентрацией $0,25 \div 0,75$ мг/л (из расчета $0,25 \div 0,75$ мкг д.в. на 1 растение) или водой (контроль) проводили путем поверхностного распыления из пульверизатора 1 раз через каждые 7 дней. Опыт осуществляли в двукратной биологической повторности. В каждом варианте опыта анализировали не менее чем по 80 растений.

Учет анализируемых параметров (высоты растений, количества листьев, жизнеспособности растений количества побегов, высоты побегов, количества листьев у побегов) проводили до обработки через каждые 14 дней на протяжении 56 дней (8 недель) культивирования. На 65-й день выполняли замер сырой массы растений с корнями и длины корней, предварительно очистив корневую систему от грунта, после чего осуществляли пикировку в мультитраты.

Общий математический анализ данных проводили по стандартным методам вариационной статистики [11] с использованием программы статистического анализа данных STATISTICA 6.0 [12]. Дисперсионный анализ данных и расчет доли влияния факторов на изменчивость исследуемых показателей осуществляли в программе статистического анализа AB-Stat 1.0, разработанной в Институте генетики и цитологии НАН Беларуси [13].

Результаты исследований и их обсуждение. Анализ изменчивости прироста высоты растений (далее – ВР) при люминесцентном освещении выявил прямо пропорциональную зависимость величины показателя от концентрации 24-ЭБ (рисунок 1). Так, на 56-й день прирост высоты в вариантах с применением $0,25$ и $0,75$ мкг/растение 24-ЭБ был достоверно при $P < 0,01$ (по фактору «концентрация 24-ЭБ») выше контроля ($0,00$ мкг/растение 24-ЭБ) в 1,15 и 1,20 раза соответственно. При светодиодном освещении значение прироста ВР было примерно одинаковым в контроле и при $0,75$ мкг/растение 24-ЭБ, а при $0,25$ мг/л 24-ЭБ в большинстве случаев было ниже, чем в контроле ($0,00$ мкг/растение 24-ЭБ). Так, прирост ВР на 56-й день в варианте с $0,25$ мкг/растение 24-ЭБ был достоверно при $P < 0,05$ (по фактору «концентрация 24-ЭБ») меньше контроля в 1,09 раза (рисунок 1). При сравнении между собой контрольных вариантов под светодиодными и люминесцентными лампами наблюдали достоверное при $P < 0,05$ (по фактору А «тип освещения») увеличение прироста высоты под светодиодами в 1,07 раза, в то время как при дозах $0,25$ и $0,75$ мкг/растение наблюдали достоверное при $P < 0,01$ снижение показателей в 1,17 и 1,09 раза соответственно под светодиодами (рисунок 1). На основе величины показателя прироста высоты растений всех вариантов опыта можно выстроить ряд в порядке убывания: $0,75 \text{ люм} > 0,25 \text{ люм} > 0,75 \text{ сд} > 0,00 \text{ сд} > 0,00 \text{ люм} > 0,25 \text{ сд}$. Таким образом, обработка растворами ЭБ оказывает достоверное влияние на прирост высоты при люминесцентном освещении, в то время как при светодиодном освещении действие 24-ЭБ проявлялось слабо.

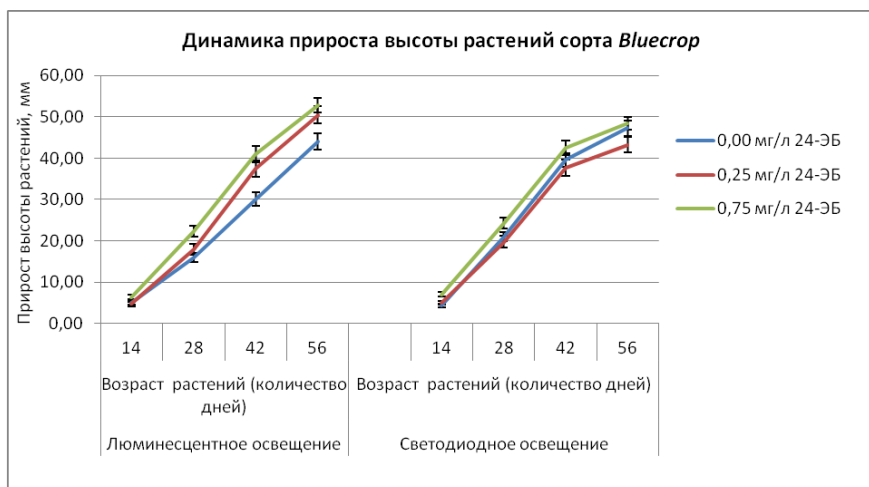


Рисунок 1 – Динамика прироста высоты растений голубики высокой сорта *Bluecrop*

При анализе изменчивости показателя прироста количества листьев (далее – КЛ) при двух типах освещения начиная с 28-го дня наблюдали достоверное (по фактору С «концентрация 24-ЭБ») снижение показателей с ростом концентрации 24-ЭБ. Так, прирост КЛ при дозе 0,25 и 0,75 мкг/растение на 56-й день был достоверно меньше контроля в 1,08 и 1,13 раза соответственно при люминесцентном освещении и в 1,08 и 1,20 раза соответственно при светодиодном освещении (рисунок 2). При сравнении разных типов освещения между собой на 56-й день были выявлены достоверные при $P < 0,01$ (по фактору А «тип освещения») различия в среднем в 1,10 раза между контрольными и опытными вариантами в пользу светодиодного освещения (рисунок 2). В данном случае ряд в порядке убывания значений прироста КЛ выглядит следующим образом: 0,00 сд > 0,25 сд > 0,00 люм > 0,75 сд > 0,25 люм > 0,75 люм. Таким образом, светодиодное освещение без обработки растворами эпибрасинолида оказывает наиболее существенное влияние на прирост количества листьев, а обработка ЭБ при двух типах освещения приводит уменьшению количества листьев.

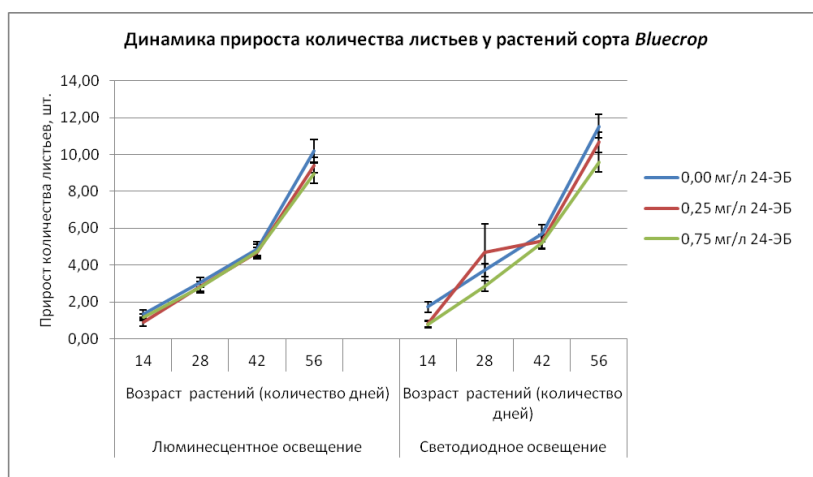


Рисунок 2 – Динамика прироста количества листьев у растений голубики высокой сорта *Bluecrop*

Анализ изменчивости показателей количества растений с побегами (далее – КРП), высота побега (далее – ВП), количества листьев у побега (далее – КЛП), массы растений с корнями (далее – МРК), длины корней (далее – ДК) в рамках одного типа освещения выявил достоверные (по фактору В «концентрация 24-ЭБ») различия между вариантами с обработкой 24-ЭБ и контролем лишь в некоторых случаях (таблица 1). Так, показатель ВП при обработке раствором

с дозой 24-ЭБ 0,25 мкг/растение под люминесцентными лампами был достоверно при $P < 0,05$ меньше контроля в 1,33 раза, показатель КЛП в вариантах с присутствием 24-ЭБ в обработке был также значимо при $P < 0,01$ меньше контроля в среднем в 1,12 раза при двух типах освещения. Существенных различий по показателю МРК при люминесцентном освещении не выявлено, в то время как при светодиодном освещении варианты с присутствием ЭБ в обработке 0,25 и 0,75 мкг/растение были достоверно при $P < 0,05$ и $P < 0,01$ (по фактору В «концентрация 24-ЭБ») ниже контроля в 1,12 и 1,35 раза соответственно. ДК была максимальна в вариантах с 0,75 мкг/растение и минимальна при 0,25 мкг/растение ЭБ при двух типах освещения, причем при люминесцентном освещении вариант с 0,75 мкг/растение был достоверно при $P < 0,01$ (по фактору В «концентрация 24-ЭБ») выше контроля в 1,47 раза. Таким образом, обработка 24-ЭБ не приводила к значимому увеличению выше перечисленных признаков ни в условиях светодиодного, ни в условиях люминесцентного освещения (за исключением показателя ДК в варианте с 0,75 мкг/растение 24-ЭБ при люминесцентном освещении).

Таблица 1 – Изменчивость количественных показателей у адаптантов *ex vitro* сорта *Bluecrop* голубики высокой при разных условиях освещения в сочетании с обработкой растворами 24-эпибрассинолида (критерий сравнения – частные средние)

Тип освещения	Продолжительность культивирования, дни	Доза 24-ЭБ мкг/растение	<i>Bluecrop</i>				
			КРП, шт.	ВП, мм	КЛП, шт.	МР, мг	ДК, мм
ЛЮМ	56	0,00	27,00 ± 5,00	45,13 ± 3,65	6,26 ± 0,33	–	–
		0,25	29,00 ± 1,00	33,94 ± 2,75	5,42 ± 0,27	–	–
		0,75	27,50 ± 2,50	44,00 ± 3,58	5,67 ± 0,29	–	–
	65	0,00	–	–	–	227,34 ± 18,00	37,93 ± 3,13
		0,25	–	–	–	232,05 ± 13,76	36,51 ± 3,39
		0,75	–	–	–	227,00 ± 15,59	55,85 ± 4,13
НСР _{0,05} (фактор В)			3,58	7,74	0,32	30,81	8,75
НСР _{0,01} (фактор В)			5,05	12,11	0,50	48,20	13,69
СД	56	0,00	32,00 ± 1,00	59,88 ± 3,99 *	7,31 ± 0,31 **	–	–
		0,25	33,50 ± 3,50	54,72 ± 3,62 **	7,24 ± 0,30 **	–	–
		0,75	32,50 ± 0,50	55,75 ± 3,66 *	6,54 ± 0,27 **	–	–
	65	0,00	–	–	–	331,43 ± 22,37**	52,82 ± 3,70 *
		0,25	–	–	–	296,88 ± 22,81*	48,47 ± 3,34
		0,75	–	–	–	244,88 ± 16,26	58,43 ± 3,12
НСР _{0,05} (фактор В)			3,58	7,74	0,32	30,81	8,75
НСР _{0,01} (фактор В)			5,05	12,11	0,50	48,20	13,69
НСР _{0,05} (фактор А)			2,92	6,32	0,26	25,16	7,15
НСР _{0,01} (фактор А)			4,12	9,89	0,41	39,36	11,18
НСР _{0,05} (частные средние)			7,15	10,95	0,45	43,57	12,38
НСР _{0,01} (частные средние)			10,10	17,13	0,71	68,17	19,37

Примечания: Данные представлены как среднее арифметическое ± стандартная ошибка средней. ЛЮМ – люминесцентное освещение, СД – светодиодное освещение. Факторы: А – тип освещения (люминесцентное, светодиодное); В – доза 24-эпибрассинолида (0,25 и 0,75 мкг/растение). Показатели: КРП – количество растений с побегами; ВП – высота побега; КЛП – количество листьев у побега; МРК – сырая масса растения с корнями; ДК – длина корней. НСР_{0,05} – наименьшая существенная разница при $P < 0,05$; НСР_{0,01} – наименьшая существенная разница при $P < 0,01$. Полужирным шрифтом выделены значения, достоверно различающиеся по частным средним: * – значимо при $P < 0,05$; ** – при $P < 0,01$.

Сравнительный анализ изменчивости показателей КРП, ВП, КЛП, МРК, ДК по двум типам освещения выявил высоко достоверное $P < 0,01$ (по фактору А «тип освещения») в подавляющем большинстве случаев превышение показателей под светодиодными лампами (таблица 1). Так, показатель КРП был достоверно выше под светодиодами в среднем

в 1,17 раза, ВП – в 1,27–1,61 раза, КЛП – в 1,15–1,34 раза. Увеличение показателя КРП говорит о влиянии спектра светодиодного источника освещения на активацию пазушных почек, что выражается в более раннем и соответственно более быстром развитии боковых побегов, о чем свидетельствуют также более высокие показатели ВП и КЛП при светодиодном освещении, описанные выше. МРК была достоверно выше в 1,46 и 1,28 раза, ДК – в 1,39 и 1,32 раза при 0,00 и 0,25 мкг/растение 24-ЭБ соответственно под светодиодными лампами (таблица 1). Более высокие показатели МРК могут быть связаны как с влиянием спектрального состава света светодиодных источников на водный обмен растений, так и с развитием корневой системы. Так, по данным некоторых исследователей, оптимизированный спектральный состав света светодиодных источников приводит к снижению скоростей дегидратации и повышению времени сохранения стабильного тургора тканей листа голубики высокой [14; 15], что, в свою очередь, указывает на способность клеток поддерживать водный баланс и стабильность системы в целом. Таким образом, растения, освещаемые светодиодами, имели достоверно (по фактору А «тип освещения») в подавляющем большинстве случаев более высокие значения выше перечисленных признаков, причем максимальные значения (за исключением ДК) оказались у варианта с отсутствием 24-ЭБ в обработке.

Особое внимание стоит обратить на степень развития корневой системы адаптантов, культивируемых при люминесцентном и светодиодном освещении, разница при визуальном контроле была значительна (рисунок 3). Так, показатель длины корней в контроле был достоверно при $P < 0,01$ (по фактору А «тип освещения») в 1,4 раза выше при светодиодном освещении (таблица 2), к тому же на рисунке 3 видно, что корневая системы под светодиодами развита лучше не только в длину но в объеме, т.е. количество корневых волосков намного больше. Как известно, корневая система голубики высокой формируется, в том числе и за счет грибов-микоризобразователей, находящихся в грунте, в который происходит высадка регенерантов с первичными корешками, сформированными *in vitro*. Однако исследования [16–20] указывают на то, что корневая система способна воспринимать свет через фоторецепторы семейства фитохрома, которые, поглощая свет в красном и дальнем красном диапазонах, активируют сигнальные молекулы, влияющие на рост и развитие корней. В работах [21–24] также указывается на улучшение развития корневой системы и повышение укореняемости малины, жимолости и картофеля при светодиодном освещении. Таким образом, спектральный состав светодиодного источника освещения приводил к формированию хорошо развитой корневой системы, которая обуславливает быструю адаптацию и ускоренный рост надземной части растения, устойчивость к неблагоприятным факторам не только на этапе адаптации *ex vitro*, но и на следующих этапах при пересадке из контейнеров в небольшие отдельные горшочки или мультиплаты.



Рисунок 3 – Корневая система растений голубики высокой сорта *Bluecrop* после 65 дней культивирования *ex vitro* при светодиодном и люминесцентном освещении

Заключение. В результате исследования можно сделать следующие выводы:

1. Обработка адаптантов 24-эпибрассинолидом в дозах 0,25 и 0,75 мкг/растение в условиях люминесцентного освещения приводит к достоверному при $P < 0,01$ увеличению прироста высоты растений в 1,1–1,2 раза, а также длины корней при 0,75 мкг/растение 24-эпибрассинолида в 1,5 раза.

2. Обработка адаптантов 24-эпибрассинолидом в дозах 0,25 и 0,75 мкг/растение в сочетании со светодиодным освещением оказывала либо слабое положительное, либо достоверно при $P < 0,05$ и $P < 0,01$ ингибирующее в 1,1–1,3 раза действие на изменчивость показателей анализируемых признаков.

3. Светодиодное освещение как в сочетании с обработкой 24-эпибрассинолидом, так и без обработки приводило к достоверному при $P < 0,05$ и $P < 0,01$ увеличению значений большинства анализируемых признаков в 1,1–1,6 раза по сравнению с таковыми под люминесцентными лампами, причем максимальные значения были установлены для варианта светодиодного освещения без обработки 24-эпибрассинолидом.

4. Светодиодное освещение без обработки эпибрассинолидом оказывало наибольшее влияние на увеличение показателей большинства анализируемых признаков, достоверно при $P < 0,05$ и $P < 0,01$ (по фактору «концентрация 24-эпибрассинолида»), превышая в 1,1–1,3 раза другие варианты со светодиодным освещением и достоверно при $P < 0,01$ (по фактору «тип освещения») превышая в 1,1–1,5 раза контрольный вариант с люминесцентным освещением.

5. Получены косвенные доказательства того, что применение светодиодного освещения с заданными спектрами длин волн, соответствующих максимумам поглощения фотосинтетических пигментов растений, стимулируют выработку эндогенных, предположительно брассиностероидов, либо иных биологически активных веществ схожего с брассиностероидами действия, приводящего к увеличению биопродукционных параметров и ускорению роста адаптантов *ex vitro*. Дополнительное применение экзогенного 24-эпибрассинолида в высоких дозах (0,25 и 0,75 мкг/растение) приводит к закономерному ингибированию роста растений.

6. Таким образом, анализ изменчивости признаков у адаптантов голубики высокой сорта *Bluecrop ex vitro* при разных условиях освещения с применением 24-эпибрассинолида в дозах 0,00; 0,25 или 0,75 мкг/растение установил преимущество использования только светодиодного освещения для одновременного достижения максимальных биопродукционных эффектов у растений на этапе их адаптации к условиям роста *ex vitro* и снижения затрат электроэнергии на 40 %. Все полученные в настоящем исследовании данные согласуются с результатами, полученными нами ранее [7–10; 25; 26], а также данными, приведенными в работах других авторов [14; 15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Khripach, V. A.* Brassinosteroids. A new class of plant hormones / V. A. Khripach, V. N. Zhabinskii, A. E. Groot. – San Diego : Academic Press, 1999. – 450 p.
2. *Zhu, J. Y.* Brassinosteroid signaling / J. Y. Zhu, J. Sae-Seaw, Z. Y. Wang // *Development*. – 2013. – Vol. 140. – P. 1615–1620.
3. *Конев, С. В.* Фотобиология / С. В. Конев. – Минск : БГУ, 1979. – 384 с.
4. *Клешнин, А. Ф.* Растение и свет / А. Ф. Клешнин. – М. : Академия наук СССР, 1954. – 456 с.
5. *Шульгин, И. А.* Растение и солнце / И. А. Шульгин. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1973. – 252 с.
6. *Morrow, R. C.* LED lighting in horticulture / R. C. Morrow // *HortScience*. – 2008. – Vol. 43, issue 7. – P. 1947–1950.
7. *Водчиц, М. П.* Ускорение роста и развития растений *Rhododendron luteum* Sweet in vivo с использованием оригинальной установки освещения на основе светодиодов / М. П. Водчиц [и др.] // Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси : материалы IV Междунар. молодежной науч.-практ. конф., Пинск, 9 апр. 2010 г. : в 4 ч. / Национальный банк Республики Беларусь [и др.] ; редкол.: К. К. Шебеко [и др.]. – Пинск : ПолесГУ, 2010. – Ч. III. – С. 256–258.
8. *Кудряшова, О. А.* Ускорение роста и развития регенерантов *Vaccinium corymbosum* L. in vitro с использованием установки освещения на основе светодиодов / О. А. Кудряшова [и др.] // *Весті НАН Беларусі. Серыя біялагічных навук*. – 2011. – № 2. – С. 47–52.
9. *Кудряшова, О. А.* Сравнительный анализ изменчивости высоты и коэффициента размножения регенерантов *Vaccinium corymbosum* L. in vitro при разных условиях освещения / О. А. Кудряшова [и др.] // *Весті Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук*. – 2010. – № 2. – С. 27–32.
10. *Водчиц, М. П.* Ускорение регенерации голубики высокой *Vaccinium corymbosum* L. in vitro с использованием опытного образца нового светодиодного светильника / М. П. Водчиц [и др.] // Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси : материалы V Междунар. молодежной науч.-практ. конф., Пинск, 31 марта 2011 г. : в 4 ч. / Национальный банк Республики Беларусь [и др.] ; редкол.: К. К. Шебеко [и др.]. – Пинск : ПолесГУ, 2011. – Ч. III. – С. 225–227.
11. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 350 с.
12. *Боровиков, В. П.* STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере / В. П. Боровиков. – СПб. : Питер, 2001. – 688 с.

13. Аношенко, Б. Ю. Программы анализа и оптимизации селекционного процесса растений / Б. Ю. Аношенко // Генетика. – 1994. – Т. 30. – Приложение. – С. 8–9.
14. Куделина, Т. Н. Особенности культивирования эксплантов голубики (*Vaccinium corymbosum*) при светодиодном освещении / Т. Н. Куделина, Д. С. Мороз, Е. В. Васина // Научные стремления – 2012 : сб. материалов III Междунар. молодежной науч.-практ. конф., Минск, 6–9 нояб. 2012 г. : в 2 т. / Совет молодых ученых Национальной академии наук Беларуси ; редкол.: В. В. Казбанов, С. В. Карпейчик. – Минск : Беларус. наука, 2012. – Т. 1. – С. 259–263.
15. Зубей, Е. С. Особенности развития *in* и *ex vitro* микроклонально размноженных растений голубики *Vaccinium corymbosum* L. при освещении различного спектрального состава / Е. С. Зубей, Т. Н. Куделина, Л. В. Обуховская // Теория и практика современного ягодоводства: от сорта до продукта : материалы Междунар. научн. конф., аг. Самохваловичи, 16–18 июля 2014 г. / Ин-т плодоводства ; редкол.: В. А. Самусь [и др.]. – Самохваловичи, 2014. – С. 143–149.
16. *Hyo-Jun Lee*. Stem-piped light activates phytochrome B to trigger light responses in *Arabidopsis thaliana* roots / *Hyo-Jun Lee* [et al.] // *Science Signaling*. – 2016. – Vol. 9, No. 452. – P. ra106. DOI:10.1126/scisignal.aaf6530
17. *Dyachok, J.* SCAR mediates light-induced root elongation in *Arabidopsis* through photoreceptors and proteasomes / *J. Dyachok* [et al.] // *Plant Cell*. – 2011. – Vol. 23, No. 10. – P. 3610–3626. DOI: 10.1105/tpc.111.088823.
18. *Warnasooriya, S. N.* Spatial-specific regulation of root development by phytochromes in *Arabidopsis thaliana* / *S. N. Warnasooriya, B. L. Montgomery* // *Plant Signal Behavior*. – 2011. – Vol. 6, No. 12. – P. 2047–2050.
19. *Salisbury, F. J.* Phytochrome coordinates *Arabidopsis* shoot and root development / *F. J. Salisbury* [et al.] // *Plant Journal*. – 2007. – Vol. 50, No. 3. – P. 429–438. DOI: 10.1111/j.1365-3113X.2007.03059.x
20. *Correll, M. J.* The roles of phytochromes in elongation and gravitropism of roots / *M. J. Correll, J. Z. Kiss* // *Plant Cell Physiology*. – 2005. – Vol. 46, No. 2. – P. 317–323. DOI: 10.1093/pcp/pci038
21. *Маркова, М. Г.* Получение стандартного посадочного материала жимолости синей с использованием биотехнологических методов / *М. Г. Маркова, Е. Н. Сомова* // Вестник НГАУ. – 2018. – № 1 (46). – С. 43–51.
22. *Маркова, М. Г.* Приемы повышения укореняемости микропобегов земляники садовой в культуре *in vitro* / *М. Г. Маркова, Е. Н. Сомова* // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2017. – Т. 3, № 2 (10). – С. 34–38.
23. *Субботин, Е. П.* Влияние искусственного солнечного света на рост и развитие растений-регенерантов *Solanum tuberosum* / *Е. П. Субботин* [и др.] // *Turczaninowia*. – 2018. – № 21 (2). – С. 32–39.
24. *Фёдорова, Ю. Н.* Влияние света разного спектрально состава на рост растений картофеля *in vitro* / *Ю. Н. Фёдорова, Н. В. Лебедева* // Изв. Великолукской ГСХА. – 2016. – № 4. – С. 2–7.
25. *Федоренко, М. П.* Влияние LED-освещения на рост растений *Vaccinium corymbosum* L. *ex vitro* / *М. П. Федоренко, А. А. Волотович* // Биотехнология: достижения и перспективы развития : сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 7–8 дек. 2017 г. / Полесский государственный университет ; редкол.: К. К. Шебеко [и др.]. – Пинск : ПолесГУ, 2017. – С. 43–45.
26. *Федоренко, М. П.* Влияние LED-освещения на рост и развитие растений *Vaccinium corymbosum* L. *ex vitro* / *М. П. Федоренко, А. А. Волотович, О. А. Кудряшова* // Биотехнология: достижения и перспективы развития : сб. материалов III Междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 22–23 нояб. 2018 г. / Полесский государственный университет ; редкол.: К. К. Шебеко [и др.]. – Пинск : ПолесГУ, 2018. – С. 40–42.

Поступила в редакцию 04.03.19.

“Vesnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 5. Economics. Sociology. Biology”
Vol. 9, No. 2, 2019, pp. 117–126
© Yanka Kupala State University of Grodno, 2019

Effects of 24-epibrassinolide on the variability of morphometric parameters in Bluecrop adaptants of *Vaccinium corymbosum* L. under fluorescent and LED lighting

M. P. Fedorenko¹, A. A. Volotovich², O. A. Kudriashova³

¹ *Polesky State University (Belarus)*

Pushkina St., 4, 225710, Pinsk, Belarus; e-mail: marta.vod@yandex.ru

² *Peasant Farm “Boksha” (Belarus)*

Bakhareva St., 24a, 225133, Pruzhany, Belarus; e-mail: volant777@tut.by

³ *Medical private unitary enterprise “Belomnimed” (Belarus)*

Platonova St., 10, 220034, Minsk, Belarus; e-mail: pixies@tut.by

Abstract. The introduction presents advantages of LED irradiating use and also possibility of brassinosteroid application for increase in resistance of plants to stressful factors, for acceleration of growth and development of plants. The purpose of researches is to study impact effects of LED and fluorescent lighting in combination with processing of 24-epibrassinolide in different doses on morphometric parameters of growth of high-bush

blueberry plants *Bluecrop ex vitro*. The object of researches is the multiplied and implanted *in vitro* high-blush blueberry plants of *Bluecrop* which are at a stage of adaptation to conditions of *ex vitro* growth. The main part presents the research methodology, the analyzed signs for assessing the influence of the factors studied, shows statistically processed data, indicating the reliability and degree of influence of the studied factors on the variability of analyzed signs. On the basis of the obtained data it is established that processing of adaptants by 24-epibrassinolide in doses of 0.25 and 0.75 mkg per plant under the conditions of luminescent lighting leads to reliable at $P < 0.01$ increase in height of plants and gain of plants height by 1.1–1.2 times and also increase in roots lengths at a dose of a 24-epibrassinolide of 0.75 mkg per plant – by 1.5 times. Application of 24-epibrassinolide in doses of 0.25 and 0.75 mkg per plant in a combination with LED lighting rendered more often inhibiting by 1.1–1.3 times on variability of indicators of the analyzed traits. The highest rates of variability of the majority of the analyzed traits are received when using LED lighting without processing by 24-epibrassinolide, at the same time values authentically at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ were in 1.1–1.6 times higher than those under fluorescent lamps, both at their independent use, and in combination with 24-epibrassinolide. The conclusion indicates that the data which are indirectly demonstrating that application of LED lighting with the set ranges of the waves lengths corresponding to maxima of absorption of photosynthetic pigments of plants stimulate development of endogenous, presumably, brassinosteroid, or other biologically active compounds of the similar to brassinosteroid action, leading to increase in bioproductional parameters and acceleration of *ex vitro* adaptant growth are obtained. Additional, at the same time, application of exogenous 24-epibrassinolide in high doses (0.25 and 0.75 mkg per plant) leads to natural inhibition of plants growth. Use of LED lighting, besides, promotes cost reduction of the electric power for 40 %.

Keywords: clonal micropropagation, LED lighting, brassinosteroids, 24-epibrassinolide, high-bush blueberry, adaptation *ex vitro*, *Bluecrop*.

References

1. Khripach V. A., Zhabinskii V. N., Groot A. E. Brassinosteroids. A new class of plant hormones. San Diego, 1999, 450 p.
2. Zhu J. Y., Sae-Seaw J., Wang Z. Y. Brassinosteroid signaling. *Development*, 2013, vol. 140, pp. 1615-1620.
3. Konev S. V. Fotobiology [*Fotobiologiya*]. Minsk, 1979, 384 p.
4. Kleshnin, A. F. Plant and light [*Rastenie i svet*]. Moscow, 1954, 456 p.
5. Shulgin I. A. Plant and sun [*Rastenie i solntse*]. Leningrad, 1973, 252 p.
6. Morrow R. C. LED lighting in horticulture. *HortScience*, 2008, vol. 43, issue 7, pp. 1947-1950.
7. Vodchits M. P. [et al.] Accelerating the growth and development of plants *Rhododendron luteum* Sweet in vivo using the original an LED-based installation of lighting [*Uskorenie rosta i razvitiia rastenii Rhododendron luteum Sweet in vivo s ispol'zovaniem original'noi ustanovki osveshcheniia na osnove svetodiodov*]. *The scientific potential of young people - the future of Belarus : proceedings of the 4th Intl. youth scientific-practical conf.*, Pinsk, Apr. 9, 2010 : in 4 parts; ed. board: K. K. Shebeko [et al.]. Pinsk, 2010, part 3, pp. 256-258.
8. Kudriashova O. A. [et al.] Accelerating the growth and development of *Vaccinium corymbosum* L. regenerants in vitro using an LED-based lighting installation [*Uskorenie rosta i razvitiia regenerantov Vaccinium corymbosum L. in vitro s ispol'zovaniem ustanovki osveshcheniia na osnove svetodiodov*]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Biological Sciences*, 2011, No. 2, pp. 47-52.
9. Kudriashova O. A. [et al.]. Comparative analysis of height and reproduction factor variabilities of *Vaccinium corymbosum* L. shoots in vitro under different conditions of illumination [*Sravnitel'nyi analiz izmenchivosti vysoty i koeffitsienta razmnozheniia regenerantov Vaccinium corymbosum L. in vitro pri raznykh usloviakh osveshcheniia*]. *Bulletin of the Polesie State University. Series of natural sciences*, 2010, No. 2, pp. 27-32.
10. Vodchits M. P. [et al.]. Acceleration of the regeneration of *Vaccinium corymbosum* L. in vitro using a prototype of a new LED lamp [*Uskorenie regeneratsii golubiki vysokoi Vaccinium corymbosum L. in vitro s ispol'zovaniem opytного obraztsa novogo svetodiodnogo svetil'nika*]. *The scientific potential of young people - the future of Belarus : proceedings of the 5th Intl. youth scientific-practical conf.*, Pinsk, March 31, 2011 : in 4 parts; ed. board: K. K. Shebeko [et al.]. Pinsk, 2011, part 3, pp. 225-227.
11. Dospikhov B. A. Field experience [*Metodika polevogo opyta*]. Moscow, 1985, 350 p.
12. Borovikov V. P. STATISTICA: The art of analyzing data on a computer [*STATISTICA: Iskustvo analiza dannykh na komp'yutere*]. St. Petersburg, 2001, 688 p.
13. Anoshenko B. Yu. Program analysis and optimization of the plant breeding process [*Programmy analiza i optimizatsii selektsionnogo protsesssa rastenii*]. *Genetics*, 1994, vol. 30, pp. 8-9.
14. Kudelina T. N., Moroz D. S., Vasina E. V. Peculiarities of cultivation of blueberry explants (*Vaccinium corymbosum*) under LED lighting [*Osobennosti kul'tivirovaniia eksplantov golubiki (Vaccinium corymbosum) pri svetodiodnom osveshchenii*]. *Scientific aspirations - 2012 : a collection of materials of the 3rd Intl. youth scientific-practical conf.*, Minsk, Nov. 6-9, 2012 : in 2 vol.; ed. board: V. V. Kazbanov, S. V. Karpeichik. Minsk, 2012, vol. 1, pp. 259-263.

15. Zubei E. S., Kudelina T. N., Obukhovskaya L. V. Peculiarities of the development of *in vitro* and *ex vitro* microclonally propagated blueberry plants of *Vaccinium corymbosum* L. when illuminated with different spectral composition [Osobennosti razvitiia in i ex vitro mikroklonal'no razmnozhenykh rastenii golubiki *Vaccinium corymbosum* L. pri osveshchenii razlichnogo spektral'nogo sostava]. *The theory and practice of modern berry growing: from variety to product: materials of the Intl. scientific conf.*, Samokhvalovich, July 16-18, 2014; ed. board: V. A. Samus [et al.]. Samokhvalovich, 2014, pp. 143-149.
16. Hyo-Jun Lee [et al.]. Stem-piped light activates phytochrome B to trigger light responses in *Arabidopsis thaliana* roots. *Science Signaling*, 2016, vol. 9, No. 452, pp. ra106. DOI:10.1126/scisignal.aaf6530
17. Dyachok J. [et al.]. SCAR mediates light-induced root elongation in *Arabidopsis* through photoreceptors and proteasomes. *Plant Cell*. 2011, vol. 23, No. 10, pp. 3610-3626. DOI: 10.1105/tpc.111.088823.
18. Warnasooriya S. N., Montgomery B. L. Spatial-specific regulation of root development by phytochromes in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Signal Behavior*, 2011, vol. 6, No. 12, pp. 2047-2050.
19. Salisbury F. J. [et al.]. Phytochrome coordinates *Arabidopsis* shoot and root development. *Plant Journal*, 2007, vol. 50, No. 3, pp. 429-438. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2007.03059.x
20. Correll M. J., Kiss J. Z. The roles of phytochromes in elongation and gravitropism of roots. *Plant Cell Physiology*, 2005, vol. 46, No. 2, pp. 317-323. DOI: 10.1093/pcp/pci038
21. Markova M. G., Somova E. N. Obtaining standard planting material of blue honeysuckle using biotechnological methods [Poluchenie standartnogo posadochnogo materiala zhimolosti sinei s ispol'zovaniem biotekhnologicheskikh metodov]. *Bulletin of NSAU*, 2018, No. 1 (46), pp. 43-51.
22. Markova M. G., Somova E. N. Methods of increasing the rooting rate of microscopic strawberry *in vitro* [Priemy povysheniia ukoreniaemosti mikropobegov zemlianiki sadovoi v kul'ture in vitro]. *Vestnik of the Mari State University. Series "Agricultural Sciences. Economic Sciences"*, 2017, vol. 3, No. 2 (10), pp. 34-38.
23. Subbotin E. P. [et al.]. The effect of artificial sunlight on the growth and development of plants regenerated by *Solanum tuberosum* [Vliianie iskusstvennogo solnechnogo sveta na rost i razvitie rastenii-regenerantov *Solanum tuberosum*]. *Turczaninowia*, 2018, No. 21 (2), pp. 32-39.
24. Fedorova Yu. N., Lebedeva N. V. Effect of light of different spectral composition on the growth of potato plants *in vitro* [Vliianie sveta raznogo spektral'no sostava na rost rastenii kartofelia in vitro]. *Proceedings of Velikoluksky State Agricultural Academy*, 2016, No. 4, pp. 2-7.
25. Fedorenko M. P., Volotovich A. A. Effect of LED-lighting on growth of *Vaccinium corymbosum* L. plants *ex vitro* [Vliianie LED-osveshcheniia na rost rastenii *Vaccinium corymbosum* L. ex vitro]. *Biotechnology: achievements and development prospects: collection of the materials of the 2nd Intl. scientific-practical conf.*, Pinsk, Dec. 7-8, 2017; ed. board: K. K. Shebeko [et al.]. Pinsk, 2017, pp. 43-45.
26. Fedorenko M. P., Volotovich A. A., Kudriashova O. A. Effect of LED-lighting on growth and development of *Vaccinium corymbosum* L. plants *ex vitro* [Vliianie LED-osveshcheniia na rost i razvitie rastenii *Vaccinium corymbosum* L. ex vitro]. *Biotechnology: achievements and development prospects: collection of the materials of the 3rd Intl. scientific-practical conf.*, Pinsk, Nov. 22-23, 2018; ed. board: K. K. Shebeko [et al.]. Pinsk, 2018, pp. 40-42.

Вниманию авторов!



В научном, производственно-практическом журнале

**«Вестник Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы.
Серыя 5. Эканоміка. Сацыялогія. Біялогія»**

по научному направлению «биология»
предлагаются следующие рубрики:

ботаника, зоология, физиология животных, физиология человека, гистология, материальные условия жизни, биохимия, молекулярная биология, биофизика, общая экология, гидробиология, экологическое воспитание и экологическое образование.

* Авторы выражают благодарность заведующему лабораторией химии стероидов ИБОХ НАН Беларуси, член-корреспонденту НАН Беларуси, доктору химических наук, профессору В. А. Хрипачу за предоставленный 24-эпибрассинолид, а также сотрудникам Центра светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси за проведение замеров светотехнических характеристик источников освещения.