

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ У РЕГЕНЕРАНТОВ  
*VACCINIUM CORYMBOSUM L. IN VITRO* ПРИ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ  
И СПЕКТРАЛЬНОМ СОСТАВЕ ИЗЛУЧЕНИЯ**

**М.П. Федоренко**

Полесский государственный университет, marta.vod@yandex.ru

**Аннотация.** На основании анализа значений анализируемых показателей признаков установлено, что оптимальной для регенерантов голубики высокой сорта Блюкороп является интенсивность излучения 30 мкмоль/м<sup>2</sup>·с, в то время как при интенсивности 60 мкмоль/м<sup>2</sup>·с происходит в большинстве случаев достоверное снижение значений анализируемых показателей признаков. Спектральный состав, обеспечивающий наилучшие показатели признаков оказался у вариантов с люминесцентными лампами и светодиодного светильника очень близкого по спектру к люминесцентным лампам.

**Ключевые слова:** микроклональное размножение растений, светодиодное освещение, голубика высокая, спектральный состав излучения, интенсивность излучения.

**Введение.** Голубика высокая является важной ягодной культурой во всем мире. Площадь промышленных плантаций в нашей стране увеличилась с 389 га в 2012 году до более 1200 га в 2021, причем примерно такую же площадь занимает данная культура на приусадебных участках [1, 2]. Посадочный материал голубики высокой востребован в нашей стране и в Российской Федерации. Актуальным способом и получения посадочного материала голубики высокой является метод микроклонального размножения. В настоящее время в нашей стране существует по меньшей мере 7 биотехнологических лабораторий, производящих оздоровленный посадочный материал данной культуры. Получение посадочного материала осуществляется круглогодично в лабораторных условиях с использованием источников освещения. В условиях постоянного повышения цен на электроэнергию, в рамках действующих программ по энергосбережению, а также с учетом мировой динамики в сторону повышения экологичности всех аспектов производства лаборатория рассматривают переход на светодиодные источники освещения для растений. В некоторых действующих лабораториях они уже частично используются.

Целью данной работы было провести сравнительный анализ изменчивости количественных признаков растений регенерантов голубики высокой при разном спектральном составе и интенсивности излучения люминесцентных и светодиодных источников освещения.

**Материалы и методы исследований.** В настоящей работе использовали люминесцентный (вариант ЛЮМ) и два светодиодных источника освещения (варианты СД1 и СД2), излучающих свет спектральных диапазонов видимого света (400–800 нм) с различным соотношением между ними. В качестве люминесцентного источника освещения (вариант ЛЮМ) использовали светильник с двумя люминесцентными лампами Osram Natura L36/76 общим энергопотреблением 75 Вт (энергопотребление ламп 72 Вт, энергопотребление самого светильника около 3 Вт), данный вариант освещения являлся контрольным. Опытные варианты освещения были представлены светодиодными светильниками мощностью 30 Вт (вариант СД1) и 33 Вт (вариант СД2). Три варианта освещения тестировали при двух значениях интенсивности излучения: 30–35 и 60–65 мкмоль/м<sup>2</sup>·с внутри сосуда для культивирования. Замер спектральных характеристик источников освещения и

плотности потока фотонов (далее ППФ) внутри и на поверхности сосуда для культивирования проводили с помощью портативного спектрометра PAR PG200N (производитель UPRtek, Тайвань). Спектральные характеристики вариантов освещения используемых в опыте представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Спектральные характеристики источников освещения

Вариант освещения	Потребляемая мощность, Вт	Плотность Потока Фотонов в диапазоне 400-799 нм, %				Соотношение диапазонов спектра			
		400-499 нм	500-599 нм	600-699 нм	700-799 нм	К/С	К/ДК	К/З	С/З
ЛЮМ	75	18,6	26,9	46,2	7,4	2,5	6,2	1,7	0,7
СД1	30	22,0	2,1	75,3	0,4	3,4	188,3	35,9	10,5
СД2	33	18,0	21,0	59,5	1,5	3,3	39,7	2,8	0,9

Примечание – ППФ – плотность потока фотонов; С – сине-голубой диапазон спектра (300 – 499 нм); З – зелено-желтый диапазон спектра (500 – 599 нм); К – оранжево-красный диапазон спектра (600 – 699 нм); ДК – дальний красный диапазон спектра (700 – 750 нм).

Наиболее близким к контрольному люминесцентному освещению по спектральным характеристикам был вариант СД2, существенные различия между ними можно отметить лишь в области дальнего красного света. Вариант СД1 значительно отличался от двух других, главным образом большей, на 15,8-29,1%, долей оранжево-красного диапазона спектра, очень низкой долей зелено-желтой области спектра, и практически полным отсутствием дальней красной составляющей (таблица 1).

В качестве объекта исследований использовали размножаемые в культуре *in vitro* регенеранты голубики высокой *Vaccinium corymbosum* L. сорта Блюкроп. Микрочеренки, культивировали в стеклянных емкостях объемом 190 мл со стерильной агаризованной, питательной средой Андерсона с зеатином. Емкости с микрочеренками размещали на полках под соответствующими вариантами освещения и интенсивностью светового потока при температуре 28-30<sup>0</sup>С. По истечении определенного периода культивирования проводили замер анализируемых признаков. Опыт проводили в 3 повторностях.

В таблице 2 приведены результаты опыта, полученные на основании анализа 82-90 регенерантов в каждом варианте опыта. Анализ показателя высоты регенеранта выявил снижение значений с увеличением интенсивности излучения от 30 до 60 мкмоль/м<sup>2</sup>·с у каждого из вариантов освещения. Так, наибольшее достоверное при P<0,01 (по фактору А) снижение произошло в вариантах ЛЮМ в 1,66 раза и СД2 в 1,26 раза, в то время как для варианта СД1 снижение было незначительным и недостоверным и составило 1,05 раза (снижение наблюдалось лишь в рамках стандартной ошибки среднего). Различия по данным признакам между тремя вариантами освещения наиболее четко и достоверно прослеживались при интенсивности в 30 мкмоль/м<sup>2</sup>·с: так, значения признаков в варианте ЛЮМ были достоверно (при P<0,01 по фактору В) выше в среднем в 1,34 и 1,23 раза аналогичных признаков в вариантах СД1 и СД2 соответственно, превышение значений в 1,09 раза варианта СД2 над СД1 было достоверно при P<0,05 (по фактору В).

При увеличении интенсивности излучения в 2 раза различия по высоте регенеранта между вариантами становились менее значимыми, а также изменялся вариант с наибольшим значением показателя признака: вариант СД1 достоверно при P<0,05 (по фактору В) в 1,2 раза превышал вариант ЛЮМ, также имел тенденцию к превышению варианта СД2 в 1,10 раза.

Анализ показателей коэффициента размножения указывает на ту же зависимость которая наблюдалась при анализе высоты побегов и регенерантов: значение признаков снижается с увеличением интенсивности излучения в каждом варианте, при этом разница между вариантами значительна при низкой интенсивности излучения, а при высокой различия несут незначительны (разница между вариантами была меньше стандартной ошибки среднего).

Таблица 2. – Изменчивость количественных признаков (среднее арифметическое  $\pm$  стандартная ошибка) у растений голубики высокой *in vitro*, выращенных при разной интенсивности и спектральном составе излучения

Интенсивность излучения	30-35 мкмоль/м <sup>2</sup> ·с			60-65 мкмоль/м <sup>2</sup> ·с			НСР по фактору А		НСР по фактору В	
	ЛЮМ (контроль)	СД 1	СД 2	ЛЮМ	СД 1	СД 2	0,05	0,01	0,05	0,01
Вариант освещения										
Анализируемые признаки										
ВР, см	2,07 $\pm$ 0,08	1,54 $\pm$ 0,07В**	1,68 $\pm$ 0,08В**	1,25 $\pm$ 0,05А**	1,47 $\pm$ 0,07В*	1,33 $\pm$ 0,06А**	0,17	0,25	0,21	0,30
КП, шт.	2,24 $\pm$ 0,11	2,13 $\pm$ 0,10	2,32 $\pm$ 0,09	2,39 $\pm$ 0,11	2,12 $\pm$ 0,10	2,31 $\pm$ 0,11	0,29	0,41	0,35	0,50
ЖР, %	100,0 $\pm$ 0,0	96,67 $\pm$ 0,00	92,22 $\pm$ 2,22	94,45 $\pm$ 4,00	90,00 $\pm$ 0,00	96,67 $\pm$ 1,93	3,99	5,68	4,89	6,96
Количество побегов с 0-м КР, %	3,19 $\pm$ 1,93	7,75 $\pm$ 3,51	8,30 $\pm$ 1,77	8,58 $\pm$ 1,95	13,74 $\pm$ 1,73	14,85 $\pm$ 3,78	4,94	7,03	6,05	8,61
КР микрочеренки, шт.	4,74 $\pm$ 0,27	3,47 $\pm$ 0,19В**	4,29 $\pm$ 0,25	3,18 $\pm$ 0,18А**	3,10 $\pm$ 0,20	3,16 $\pm$ 0,19А**	0,53	0,75	0,64	0,92

Примечание. НСР – наименьшая существенная разница; фактор А – интенсивность излучения, фактор В – вариант освещения; В\* – различия достоверны при  $P < 0,05$  по фактору В, В\*\* – при  $P < 0,01$  по фактору В; А\* – различия достоверны при  $P < 0,05$  по фактору А, А\*\* – различия достоверны при  $P < 0,01$  по фактору А.

Уменьшение значения коэффициента размножения при увеличении интенсивности излучения было существенным и достоверным при  $P < 0,01$  (по фактору А) для вариантов ЛЮМ и СД2 и составило 1,49 и 1,36 раза соответственно, в то время как снижение признака в варианте СД1 было менее значительным и недостоверным и составило лишь 1,12 раза.

При увеличении интенсивности излучения в 2 раза различия по высоте регенеранта между вариантами становились менее значимыми, а также изменялся вариант с наибольшим значением показателя признака: вариант СД1 достоверно при  $P < 0,05$  (по фактору В) в 1,2 раза превышал вариант ЛЮМ, также имел тенденцию к превышению варианта СД2 в 1,10 раза.

Анализ показателей коэффициента размножения указывает на ту же зависимость которая наблюдалась при анализе высоты побегов и регенерантов: значение признаков снижается с увеличением интенсивности излучения в каждом варианте, при этом разница между вариантами значительна при низкой интенсивности излучения, а при высокой различия несущественны (разница между вариантами была меньше стандартной ошибки среднего). Уменьшение значения коэффициента размножения при увеличении интенсивности излучения было существенным и достоверным при  $P < 0,01$  (по фактору А) для вариантов ЛЮМ и СД2 и составило 1,49 и 1,36 раза соответственно, в то время как снижение признака в варианте СД1 было менее значительным и недостоверным и составило лишь 1,12 раза.

Сравнительный анализ в рамках вариантов освещения выявил, что максимальное значение коэффициента размножения было получено для варианта ЛЮМ при интенсивности излучения  $30 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$ , что достоверно при  $P < 0,01$  (по фактору В) выше варианта СД1 в 1,37 раза, и на уровне тенденции выше варианта СД2 в 1,10 раза.

Анализ показателей признаков количество побегов и жизнеспособность регенерантов не выявил зависимости от спектрального состава и интенсивности излучения, различия между вариантами опыта находились на уровне стандартной ошибки среднего.

При анализе регенерантов также фиксировались случаи наличия жизнеспособных побегов с нулевым коэффициентом размножения, т.е. это побеги, которые не могут служить источником микрочеренков. Такие побеги наблюдали в каждой повторности каждого варианта опыта. Данный показатель имел тенденцию к увеличению в 1,8–2,7 раза с ростом интенсивности излучения. В рамках одинаковой интенсивности излучения максимальные значения были зафиксированы для вариантов СД1 и СД2, минимальные для варианта ЛЮМ. Высокие значения данного показателя оказывают отрицательное влияние на показатели коэффициента размножения и высоту регенеранта.

Таким образом, если выразить полученные результаты в виде ряда вариантов освещения, расположенных в порядке снижения основных показателей признаков, то для  $30 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$  получим ряд ЛЮМ > СД2 > СД1, для  $60 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$  тот же ряд но в обратном последовательности для признака высота регенерата – СД1 > СД2 ≥ ЛЮМ, и ряд ЛЮМ = СД2 ≥ СД1 для признака коэффициента размножения.

На основании результатов можно сделать следующие выводы:

- интенсивность излучения величиной  $60 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$  оказывает отрицательное влияние практически на все анализируемые показатели признаков, приводя к снижению в среднем в 1,6, 1,1 и 1,3 раза для вариантов ЛЮМ, СД1 и СД2 соответственно;
- при интенсивности излучения  $30 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$  различия между вариантами освещения прослеживаются более четко, в то время как при ее увеличении различия становятся несущественными;
- наилучшими вариантами освещения, на основании значений анализируемых признаков оказались варианты ЛЮМ и СД2 достаточно близкие по спектральному составу излучения, но различающиеся по энергопотреблению в 2 раза. В дальнейшем целесообразно рассматривать модификацию спектра варианта СД2 для получения результатов либо аналогичных варианту ЛЮМ, либо лучше, при низком энергопотреблении.

#### Список использованных источников

1. Решетников, В. Н. Состояние и перспективы развития голубиководства в Беларуси / В. Н. Решетников, А. А. Веевник // Голубиководство в Беларуси: итоги и перспективы : материалы Республиканской научно-

практич. конф. (Минск, 17 августа 2012 г.) / Центральный ботанический сад НАН Беларуси ред. В. В. Титок и др. – Минск, 2012. – С. 54-58.

2. Научный подход, рост насаждений, гарантированный сбыт: как выращивание голубики превратилось в доходный бизнес [Электронный ресурс]. / И. Автор. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/urozhaynogo-polya-yagoda.html> (дата доступа – 01.09.2022).