

УДК 581.14:582.912.42

О. А. КУДРЯШОВА, М. П. ВОДЧИЦ, Е. П. ГЛЕБ, Е. С. ГУК, А. А. ВОЛОТОВИЧ

**СТИМУЛЯЦИЯ РОСТА И РАЗВИТИЯ ЛИСТОПАДНЫХ ФОРМ  
RHODODENDRON IN VIVO С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТАНОВКИ ОСВЕЩЕНИЯ  
НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДОВ**

Полесский государственный университет, Пинск, e-mail: volant777@tut.by

(Поступила в редакцию 25.06.2010)

**Введение.** Рододендрон (лат. *Rhododendron*) – самый многочисленный род растений семейства Ericaceae (Вересковые), насчитывающий около 1300 дикорастущих видов, из которых в садоводстве используют более 600 видов, и 8000 сортов [1–3]. Рододендрон желтый (*Rhododendron luteum* L., *Azalea pontica* L.) – растение семейства Ericaceae, занесенное в Красную книгу Республики Беларусь (3-я категория охраны) [4]. В верхушечных соцветиях данного вида содержится до 0,3 % эфирного масла, которое используется в композициях высших сортов парфюмерии. По данным разных авторов, содержание эфирного масла в верхушечных соцветиях у рододендрона желтого в 1,5–3,0 раза превышает таковое у рододендронов других видов (в том числе большинства сортовых рододендронов) [5]. Закладка производственных плантаций рододендрона желтого на территории Белорусского Полесья на долгие годы обеспечит стабильным источником высококачественного сырья для получения абсолюта или абсолютного масла, а также будет способствовать выводу указанного вида из Красной книги Республики Беларусь. Растения рода рододендрон представляют собой медленно растущие кустарники, формирование цветочных почек наблюдается на 2–3-й год развития растений. На сегодняшний день представляют практический интерес данные по стимуляции роста и развития растений рододендрона желтого на этапах производства посадочного материала *in vivo*, поскольку ускорение роста и развития растений в ювенильном возрасте способствует более раннему их зацветанию.

Излучение источников искусственного освещения – один из наиболее эффективных факторов, влияющих на рост и развитие растений *in vivo*. Большинство из существующих в наше время ламп недостаточно экономичны. Физиологическая радиация обычно колеблется в пределах 5–20 % подводимой мощности, а поглощение этой радиации хлорофиллом составляет 50–90 %. Следовательно, в лучшем случае растения могут использовать на создание органического вещества не более 2,5–18 % энергии, потребляемой лампами. Поэтому важнейшей проблемой светотехники является разработка рациональных осветителей, дающих строго направленный пучок лучей и создающих равномерное освещение на определенной площади. Известно, что перегрев растений, особенно при использовании ламп, богатых инфракрасными лучами, – наиболее часто наблюдаемое явление в условиях светокультуры. При этом имеет значение не столько температура среды, сколько температура тканей растений, особенно листьев. Лампы солнечного света и лампы накаливания повышают температуру листьев по сравнению температурой воздуха на 5–6 и 9–11 °С соответственно [6]. Поэтому очень важен вопрос устранения избытка инфракрасных лучей, вызывающих перегрев растений.

Светодиод (по-английски light emitting diode или LED) – это полупроводниковый прибор с электронно-дырочным *p-n*-переходом или контактом «металл – полупроводник», преобразующий электрический ток непосредственно в световое излучение [7]. Главное преимущество светодиода в отличие от лампы накаливания или люминесцентной лампы заключается в том, что

электрический ток преобразуется в световое излучение практически без потерь, при этом светодиод практически не нагревается, что определяет длительный срок его службы. Светодиод излучает в узкой части спектра, излучение идет полностью в переднюю сферу, механически прочен, исключительно надежен. В отличие от ламп накаливания и всех других типов ламп светодиоды излучают свет в относительно узкой полосе спектра, ширина которой составляет 20–30 нм, что делает их особенно удобными для формирования светильников со специальным спектром излучения. Срок службы светодиода может достигать 100 тыс. ч, что почти в 100 раз больше, чем у лампочки накаливания, и в 5–10 раз больше, чем у люминесцентной лампы. Падение яркости свечения светодиодов, например, через 50 000 ч, как правило, не превышает 25 %. Светодиод является низковольтным электроприбором, это качество определяет безопасность работы со светодиодами в целом. Сверхминиатюрность и встроенное светораспределение (оптические линзы) дополняют положительные качества светодиода [7–10].

За период февраль–ноябрь 2009 г. при научном сопровождении сотрудников сектора микрклонального размножения растений УО «Полесский государственный университет» (Пинск, Республика Беларусь) и при содействии компании ООО «Ellis Amalgamated LLC» (Минск, Республика Беларусь) был сконструирован опытный образец установки освещения на основе светодиодов. Опытный образец созданной установки испытывался на предмет стимуляции роста и развития растений семейства Ericaceae в биотехнологической лаборатории сектора микрклонального размножения растений УО «Полесский государственный университет» с ноября 2009 г. по апрель 2010 г. В настоящей статье приведены результаты испытаний созданного опытного образца светодиодной лампы и сравнительного анализа эффективности использования световых установок с разным типом ламп для стимуляции роста и развития растений *Rhododendron luteum* (L.) Sweet *in vivo*.

**Объекты и методы исследования.** В качестве объекта исследования использовали семена двух популяций рододендрона желтого *Rhododendron luteum* (L.) Sweet, собранные в декабре 2009 г. во время экспедиции в районы населенных пунктов Ветчин и Марковское Гомельской области. Семена высевали на верховой торф (ППУП «Зеленоборское», Республика Беларусь) в емкости размером 15×20 см<sup>2</sup> из расчета 0,5 г на емкость, и размещали под четырьмя разными типами ламп (оригинальные светодиодные; OSRAM L 36W/954 Lumilux de Lux Daylight; OSRAM L 36W/76 Natura; OSRAM L 36W/77 Fluora), различающимися по освещенности и спектральному составу света (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Тип и характеристика задействованных в эксперименте ламп

Маркировка лампы	Количество ламп на полке, шт.	Освещенность, лк
OSRAM L 36W/954 Lumilux de Lux Daylight	4	9000
OSRAM L 36W/76 Natura	4	6000
OSRAM L 36W/77 Fluora	4	7000
Лампа светодиодная (оригинальная)	1	4000

После посева семян емкости (лотки) укрывали пленкой во избежание пересыхания семян и впоследствии всходов. Всходы культивировали при соблюдении следующих условий: фотопериод (свет/темнота, ч) – 16/8 ч, температура – + 25 ± 1 °С. Сеянцы однократно обрабатывали раствором фунгицида «Байтан». На протяжении испытаний за семенами и проростками осуществляли ежедневный уход – полив-опрыскивание, проветривание посевов на протяжении 1–2 ч. Проводили фенологические наблюдения и фотодокументацию.

На 30, 40 и 50-е дни после посева семян анализировали изменчивость роста и развития растений по признакам «площадь листовой пластинки первого настоящего листа», «высота проростков», «количество настоящих листьев». Измерения первых двух признаков у проростков проводили с помощью миллиметровой бумаги. Количество анализируемых проростков – не менее 30 в каждом варианте опыта. На 60-й день после посева провели учет взошедших растений под каждым из исследуемых типов ламп и пикировку.

Общий математический анализ данных проводили по стандартным методам вариационной статистики [11] с использованием программы статистического анализа данных STATISTICA 6.0 [12]. Дисперсионный анализ данных проводили в программе AV-Stat, разработанной в Институте генетики и цитологии НАН Беларуси.

**Результаты и их обсуждение.** Семена проклюнулись практически одновременно на 7–8-й день после посева. Дружные всходы во всех исследуемых вариантах опыта появились на 12-й день после посева. Согласно данным, полученным на 30, 40 и 50-е дни после посева семян, высота проростков популяции «Ветчин» под светодиодной лампой достоверно (при  $P < 0,01$ ) превышала высоту проростков под остальными типами ламп на 1,2–3,0 мм (16,4–56,6 %), 2,6–4,4 мм (22,7–46,7 %) и 4,9–7,7 мм (30,2–56,9 %) соответственно (табл. 2). Высота проростков популяции «Марковское» под светодиодной лампой в большинстве случаев достоверно (при  $P < 0,05$  и  $P < 0,01$ ) превышала высоту проростков под остальными типами ламп на 1,3–1,5 мм (39,1–47,8 %), 3,0–3,4 мм (42,6–48,8 %) и 3,3–5,8 мм (24,4–51,8 %) соответственно по состоянию на 30, 40 и 50-е дни после посева семян (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Изменчивость количественных признаков у растений *Rhododendron luteum* (L.) Sweet

Возраст, дни	Тип лампы	Высота проростков, мм		Площадь листовой пластинки первого настоящего листа, мм <sup>2</sup>		Количество настоящих листьев, шт.	
		Популяция «Ветчин»	Популяция «Марковское»	Популяция «Ветчин»	Популяция «Марковское»	Популяция «Ветчин»	Популяция «Марковское»
30	1	5,87 ± 0,31	3,40 ± 0,12	<b>5,93 ± 0,58**</b>	4,03 ± 0,46	2,10 ± 0,10	1,97 ± 0,08
	2	7,13 ± 0,22	3,20 ± 0,17	<b>5,85 ± 0,50**</b>	2,53 ± 0,30	1,97 ± 0,03	2,00 ± 0,10
	3	5,30 ± 0,29	<b>5,27 ± 0,24*</b>	3,90 ± 0,33	<b>4,48 ± 0,37*</b>	2,03 ± 0,06	2,01 ± 0,07
	4	<b>8,30 ± 0,38**</b>	<b>4,73 ± 0,18*</b>	3,77 ± 0,41	3,43 ± 0,29	1,93 ± 0,05	1,97 ± 0,09
	HCP <sub>05</sub>	<b>0,84</b>	<b>0,52</b>	<b>1,31</b>	<b>0,97</b>	<b>0,18</b>	<b>0,24</b>
	HCP <sub>01</sub>	<b>1,12</b>	<b>0,69</b>	<b>1,74</b>	<b>1,29</b>	<b>0,23</b>	<b>0,31</b>
40	1	9,63 ± 0,42	7,20 ± 0,41	8,77 ± 0,79	7,70 ± 0,54	3,60 ± 0,14	4,17 ± 0,16
	2	11,27 ± 0,54	6,90 ± 0,38	<b>10,70 ± 0,65*</b>	7,30 ± 0,49	3,57 ± 0,11	4,03 ± 0,13
	3	9,43 ± 0,36	<b>9,77 ± 0,34**</b>	5,83 ± 0,43	8,13 ± 0,63	3,43 ± 0,15	<b>4,37 ± 0,11**</b>
	4	<b>13,83 ± 0,34**</b>	<b>10,27 ± 0,58**</b>	8,60 ± 0,66	<b>8,93 ± 0,62*</b>	3,57 ± 0,11	3,67 ± 0,12
	HCP <sub>05</sub>	<b>1,14</b>	<b>1,22</b>	<b>1,72</b>	<b>1,60</b>	<b>0,39</b>	<b>0,39</b>
	HCP <sub>01</sub>	<b>1,51</b>	<b>1,61</b>	<b>2,28</b>	<b>2,12</b>	<b>0,52</b>	<b>0,52</b>
50	1	16,30 ± 0,75	<b>17,33 ± 0,94**</b>	<b>11,80 ± 0,85*</b>	<b>12,93 ± 1,15**</b>	<b>5,70 ± 0,17**</b>	5,67 ± 0,18
	2	15,87 ± 0,42	11,20 ± 0,61	10,90 ± 0,76	8,97 ± 0,94	5,27 ± 0,18	5,87 ± 0,20
	3	13,53 ± 0,69	13,67 ± 0,73	10,07 ± 0,99	11,83 ± 0,74	<b>5,73 ± 0,17**</b>	6,10 ± 0,21
	4	<b>21,23 ± 0,99**</b>	<b>17,00 ± 0,80**</b>	8,70 ± 0,79	9,57 ± 0,63	5,00 ± 0,22	6,33 ± 0,24
	HCP <sub>05</sub>	<b>2,04</b>	<b>2,01</b>	<b>2,41</b>	<b>2,39</b>	<b>0,51</b>	<b>0,55</b>
	HCP <sub>01</sub>	<b>2,69</b>	<b>2,67</b>	<b>3,19</b>	<b>3,17</b>	<b>0,68</b>	<b>0,73</b>

П р и м е ч а н и е. Данные представлены как среднее арифметическое ± стандартная ошибка. Тип лампы: 1 – OSRAM L 36W/954 Lumilux de Lux Daylight; 2 – OSRAM L 36W/76 Natura; 3 – OSRAM L 36W/77 Fluora; 4 – лампа светодиодная. Полужирным шрифтом у отдельных вариантов опыта выделены максимальные, достоверные значения по анализируемым признакам.

\* Значимо при  $P < 0,05$ .

\*\* Значимо при  $P < 0,01$ .

Анализ изменчивости признака «количество настоящих листьев» в большинстве случаев достоверных различий между вариантами опыта не выявил. В зависимости от возраста проростков наблюдали варьирование данного признака в пределах 1–2 настоящих листьев, 3–5 и 5–7 настоящих листьев на 30, 40 и 50-е дни после посева семян соответственно. Незначительное, достоверное при  $P < 0,01$ , превышение показателей по данному признаку на 0,70–0,73 было отмечено для проростков популяции «Ветчин» под лампами OSRAM L 36W/954 Lumilux de Lux Daylight и OSRAM L 36W/77 Fluora на 50-й день после посева семян (табл. 2).

Площадь листовой пластинки первого настоящего листа у проростков под светодиодной лампой достоверно при  $P < 0,05$  превышала на  $1,7 \text{ мм}^2$  (22,3 %) таковую у проростков под лампами OSRAM L 36W/76 Natura только в случае с проростками популяции «Марковское» на 40-й день после посева (табл. 2). В остальных случаях по данному признаку проростки, выросшие под светодиодными лампами, чаще занимали средние позиции в зависимости от варианта опыта, достоверно (при  $P < 0,05$ ) превышая на  $0,90\text{--}2,80 \text{ мм}^2$  (35,6–47,5 %) худший показатель (чаще всего у проростков под лампами OSRAM L 36W/77 Fluora) и достоверно (при  $P < 0,05$ ) на  $1,00\text{--}3,36 \text{ мм}^2$  (30,6–35,1 %) уступая лучшему показателю (как правило, у проростков под лампами OSRAM L 36W/76 Natura и OSRAM L 36W/954 Lumilux de Lux Daylight).

Возможное объяснение данного явления кроется в различиях по всхожести семян при разных условиях освещения (табл. 3). При оценке данного признака в двух исследуемых случаях (для популяций «Ветчин» и «Марковское») установлено, что по всхожести проростки под светодиодными лампами в 1,3–1,9 и 1,7–2,5 раза соответственно превышали всхожесть проростков под остальными типами ламп (табл. 3). Исчезновение (с возрастом проростков) достоверности превышения показателей площади листовой пластинки первого настоящего листа в исследуемых популяциях *Rhododendron luteum* (L.) Sweet под светодиодной лампой возможно объяснить различиями по площади питания на отдельное растение. Поскольку под остальными типами ламп всхожесть семян была ниже, чем под светодиодными лампами, растения под светодиодными лампами получали питание с меньшей площади. Можно предположить, что при равной плотности посадки достоверность превышения показателей площади листовой пластинки первого настоящего листа и количества настоящих листьев у растений при освещении светодиодами будет преобладать.

Т а б л и ц а 3. Количество взошедших растений *Rhododendron luteum* (L.) Sweet при освещении разными типами ламп

Тип ламп	Популяция «Ветчин»	Популяция «Марковское»
OSRAM L 36W/954 Lumilux de Lux Daylight	398	385
OSRAM L 36W/76 Natura	315	280
OSRAM L 36W/77 Fluora	280	413
Лампа светодиодная (оригинальная)	<b>534</b>	<b>690</b>

Трехфакторный дисперсионный анализ установил высокодостоверное (при  $P < 0,01$ ) влияние возраста проростков и типа используемых для освещения ламп на изменчивость всех исследуемых признаков (табл. 4). При этом доля влияния возраста проростков составила 32,6–77,1 % в зависимости от анализируемого признака, а доля влияния типа ламп – 0,2–5,6 %. Установлено высокодостоверное (при  $P < 0,01$ ) влияние генотипа проростков на изменчивость признаков «высота проростков» и «количество настоящих листьев». Доля влияния фактора на изменчивость указанных признаков составила 5,6 и 0,2 % соответственно (табл. 4). Комбинации исследуемых факторов, за единственным исключением (возраст×генотип), оказывали достоверное (в большинстве случаев при  $P < 0,01$ ) влияние на изменчивость признака «высота растений». Доля влияния при этом не превышала 2,8 % (для комбинации возраст×тип ламп). Комбинации факторов возраст×генотип и возраст×генотип×тип ламп оказывали высокодостоверное (при  $P < 0,01$ ) влияние на изменчивость признака «количество настоящих листьев». В то время как достоверного влияния совокупности всех исследуемых факторов на изменчивость признака «площадь листовой пластинки первого настоящего листа» выявить не удалось (табл. 4).

**Заключение.** Установлено, что освещение семян двух исследуемых популяций *Rhododendron luteum* (L.) Sweet (популяции «Ветчин» и «Марковское») созданной установкой на основе светодиодов приводит к повышению всхожести семян в 1,3–1,9 и 1,7–2,5 раза соответственно по сравнению со всхожестью семян под остальными исследуемыми типами люминесцентных ламп.

Установлено, что высота проростков популяции «Ветчин» под светодиодной лампой достоверно (при  $P < 0,01$ ) превышала высоту проростков под остальными типами ламп на 1,2–3,0 мм (16,4–56,6 %), 2,6–4,4 мм (22,7–46,7 %) и 4,9–7,7 мм (30,2–56,9 %) соответственно на 30, 40 и 50-е

Т а б л и ц а 4. Трехфакторный дисперсионный анализ изменчивости количественных признаков у растений *Rhododendron luteum* (L.) Sweet

Источник варьирования	Степени свободы	Высота проростков		Площадь листовой пластинки первого настоящего листа		Количество настоящих листьев	
		Средний квадрат	Доля влияния, %	Средний квадрат	Доля влияния, %	Средний квадрат	Доля влияния, %
Общее	719	31,088	—	21,202	—	2,971	—
Фактор А (возраст)	2	<b>6498,735**</b>	58,149	<b>2481,179**</b>	32,553	<b>823,504**</b>	77,108
Фактор Б (генотип)	1	<b>963,735**</b>	4,132	33,800	0,222	<b>23,112**</b>	1,082
АЧБ	2	6,518	0,058	<b>43,662*</b>	0,573	<b>6,088**</b>	0,570
Фактор В (тип ламп)	3	<b>417,490**</b>	5,603	<b>64,647**</b>	1,272	<b>1,583*</b>	0,222
АЧВ	6	<b>105,646**</b>	2,836	<b>61,938**</b>	2,438	0,436	0,122
БЧВ	3	<b>199,546**</b>	2,678	<b>163,147**</b>	3,211	1,127	0,158
АЧБЧВ	6	<b>19,640*</b>	0,527	7,479	0,294	<b>2,841**</b>	0,798
Повторности	29	12,044	1,563	15,714	2,989	0,826	1,121
Случайные отклонения	667	8,135	24,274	12,901	56,448	0,603	18,818

П р и м е ч а н и е. Полужирным шрифтом выделены значимые средние квадраты.

\* Значимо при  $P < 0,05$ .

\*\* Значимо при  $P < 0,01$ .

дни после посева семян. Высота проростков популяции «Марковское» под светодиодной лампой в большинстве случаев достоверно (при  $P < 0,05$  и  $P < 0,01$ ) превышала высоту проростков под остальными типами ламп на 1,3–1,5 мм (39,1–47,8 %), 3,0–3,4 мм (42,6–48,8 %) и 3,3–5,8 мм (24,4–51,8 %) соответственно.

Трехфакторный дисперсионный анализ выявил достоверное (за единственным исключением) влияние всех исследуемых факторов на изменчивость анализируемых признаков. При этом доля влияния возраста проростков в зависимости от анализируемого признака составила 32,6–77,1 %, доля влияния генотипа – 1,1–4,1 %, а доля влияния типа ламп – 0,2–5,6 %.

Результаты исследований свидетельствуют о достоверном ускорении роста и развития растений *Rhododendron luteum* (L.) Sweet, что проявлялось в повышении всхожести семян и высоты проростков при освещении всходов опытным образцом оригинальной установки освещения на основе светодиодов.

## Литература

1. Александрова М. С. Рододендроны. М., 2001.
2. Кондратович Р. Я. Рододендроны в Латвийской ССР. Рига, 1981.
3. Зарубенко А. У. Культура рододендронов на Украине. Киев, 2006.
4. Пашков Г. П. Красная книга Республики Беларусь: Растения. Мн., 2005.
5. Хейфиц Л. А., Дашунин В. М. Душистые вещества и другие продукты для парфюмерии. М., 1994.
6. Клешнин А. Ф. Растение и свет. Теория и практика светокультуры растений. М., 1954.
7. Юнович А. Э. // Экология и жизнь. 2003а. Т. 33, № 4. С. 62–65.
8. Алферов В. Ю., Митрохин Ю. В. // Светотехника. 2009. № 5. С. 9–12.
9. Билунд Л. // Светотехника. 2009. № 6. С. 64–66.
10. Юнович А. Э. // Светотехника. 2003б. № 3. С. 2–6.
11. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1985.
12. Боровиков В. П. STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере. СПб., 2001.

*O. A. KUDRYASHOVA, M. P. VODCHIC, E. P. GLEB, E. S. GUK, A. A. VOLOTOVICH*

## STIMULATION OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF RHODODENDRON DECIDUOUS PLANTS IN VIVO USING OF EMPLACEMENT OF ILLUMINATION ON THE BASIS OF LIGHT-EMITTING DIODES

### Summary

The results of trials of the created pre-production model of a light-emitting diode lamp as well as comparative analysis of efficiency of use of light installations with different type of lamps for in vivo germination, growth and development stimulation of two investigated populations of *Rhododendron luteum* (L.) sweet are presented. Authentic influence of used light-emitting diode lamp type on germination increase is established. Authentic (in most cases, at  $P < 0.01$ ) increase in height of sprouts is revealed at use of the created light-emitting diode lamp. The three-factorial dispersive analysis has established authentic (in most cases, at  $P < 0.01$ ) influence of lamps type, of age and genotype of sprouts on variability of three analyzed traits.

**РЕФЕРАТЫ**

УДК 581.14:582.912.42

Кудряшова О. А., Водчиц М. П., Глеб Е. П., Гук Е. С., Вологович А. А. **Стимуляция роста и развития листопадных форм *Rhododendron in vivo* с использованием установки освещения на основе светодиодов** // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. 2011. № 4. С. 46–51.

Приведены результаты испытаний созданного опытного образца светодиодной лампы и сравнительного анализа эффективности использования световых установок с разным типом ламп для повышения всхожести, стимуляции *in vivo* роста и развития растений двух исследуемых популяций *Rhododendron luteum* (L.) Sweet. Установлено повышение в 1,3–2,5 раза всхожести семян при использовании оригинальной установки освещения на основе светодиодов. Выявлено достоверное (в большинстве случаев при  $P < 0,01$ ) увеличение высоты проростков при использовании созданной светодиодной лампы. Трехфакторный дисперсионный анализ установил достоверное (в большинстве случаев при  $P < 0,01$ ) влияние типа используемых для освещения ламп, возраста и генотипа проростков на изменчивость трех анализируемых признаков.

Табл. 4. Библиогр. – 12 назв.