

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОСТА И РАЗВИТИЯ RHODODENDRON LUTEUM L. SWEET ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ОСВЕЩЕНИЯ

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

УО «Полесский государственный университет»

**Введение.** Рододендрон (*Rhododendron*) – род растений семейства Вересковые (*Ericaceae*). Рододендрон – декоративный вечнозеленый, полувечнозеленый или листопадный кустарник средней высотой 2 м, реже - невысокое дерево. Это самый многочисленный род в семействе Вересковых. Рододендроны медленно растут, долговечны и способны сохранять высокую декоративность на протяжении десятков лет. Род насчитывает около 1300 дикорастущих видов, из которых в садоводстве используют более 600 видов, и 8000 сортов. Более 100 сортов широко применяются в озеленении. Для успешного роста им требуется кислая (рН=4-5) почва [1-3]. В растениях, особенно в верхушечных соцветиях рододендрона, содержится до 0,3 % эфирного масла, которое используется в композициях высших сортов парфюмерии [4].

Основным источником энергии для фотосинтетической и биопродукционной активности высших растений является световая энергия естественного Солнца, либо искусственных источников освещения. Для физиологических процессов в организме растений наибольшее значение имеет коротковолновая радиация, диапазон которой условно подразделяется на ультрафиолетовую ( $\lambda =$

0,3 – 0,4 мкм), видимую ( $\lambda = 0,40 - 0,75$  мкм) и близкую инфракрасную ( $\lambda_{\text{БИКР1}} = 0,75 - 1,20$  мкм;  $\lambda_{\text{БИКР2}} = 1,20 - 4,00$  мкм) области [5]. Область физиологической радиации, поглощаемой пигментами листьев зеленых растений, находится в диапазоне 0,35 – 0,75 мкм и составляет более половины всего излучения Солнца. В пределах физиологической радиации выделяется область фотосинтетически активной радиации (0,38 – 0,71 мкм), имеющая два основных максимума поглощения пигментами листьев зеленых растений в областях 650–670 и 430–480 нм.

Важнейшим процессом, влияющим на продуктивность растений, является фотосинтез. Воздействие излучения различного спектрального состава и интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР) на фотосинтез, фотоморфогенез, рост и развитие, другие процессы, определяющие продуктивность растений, достаточно хорошо изучены в 20-м веке [5, 6]. Создание новых источников света, для выращивания растений в условиях искусственного освещения осложняется тем, что на фоне различного соотношения синих и зеленых лучей должно быть повышенным содержание красных лучей в спектре ФАР. Эта проблема исчезает с появлением светодиодов. В настоящее время с появлением светодиодов в области светокультуры растений открываются неограниченные возможности.

Светодиод (light emitting diode, или LED) – полупроводниковый прибор, преобразующий электрический ток непосредственно в световое излучение практически без потерь и в относительно узкой полосе спектра, ширина которой составляет 20-30 нм [7]. Узкая ширина спектра излучения позволяет использовать светодиоды для формирования светильников со специальным составом спектра, позволяющего активировать фотофизиологические и биопродукционные процессы у растений.

В статье приведены результаты испытаний созданного при нашем участии опытного образца светодиодной лампы, и осуществлен сравнительный анализ эффективности использования световых установок с разным типом ламп для ускорения роста и повышения содержания хлорофилла у растений рододендрона желтого *Rhododendron luteum* (L.) Sweet *in vivo*.

**Материалы и методы исследования.** Испытания опытного образца светодиодного светильника проводили на базе биотехнологической лаборатории НИЛ клеточных технологий в растениеводстве УО «Полесский государственный университет» (Пинск, Республика Беларусь) с ноября 2010 по февраль 2011 года.

Объектом исследований стали семена двух популяций рододендрона желтого *Rhododendron luteum* (L.) Sweet, собранные в районах населенных пунктов Ветчин и Марковское Гомельской области в декабре 2009 года, за время экспедиции по местам локализации природных популяций *Rhododendron* L., занесенных в Красную книгу Республики Беларусь. Семена высевали на поверхность хорошо увлажненного верхового нераскисленного торфа (производства ПРУП «Зеленоборское», Республика Беларусь) в емкости размером 15×20 см<sup>2</sup> по 100 семян в каждую. Емкости размещали под двумя типами ламп: оригинальные светодиодные ДПО 01-2х5-001 (1500 лк, цветопередача красный:зеленый:синий из расчета 6:1:2, производитель ОАО «Камертон», г. Пинск) и люминесцентные OSRAM L 36W/76 *Natura* (6000 лк, 36 Вт, CCT = 6200–6500 К).

После посева семян, емкости укрывали пластиковыми крышками, во избежание пересыхания семян и, впоследствии, всходов. На протяжении периода проведения испытаний, за семенами и проростками осуществляли ежедневный уход – полив-опрыскивание, один раз в день, и контролировали количество взошедших семян.

Всходы культивировали на стеллажах адаптационного помещения при следующих условиях: фотопериод 16/8 часов (свет/темнота), температура +24±1<sup>0</sup>С, относительная влажность воздуха 70%. На 28, 38 и 72 дни после посева анализировали изменчивость следующих признаков: высота растения, количество настоящих листьев и площадь первого настоящего листа. Измерение высоты растения и площади листовой пластинки проводили с помощью миллиметровой бумаги. Количество анализируемых растений в каждом варианте опыта – 90 шт. (2 повторности, по 45 растений в каждой). На 95 день после посева, 50 растений из каждого варианта опыта (по 25 растений из каждой повторности) взвешивали, с последующим определением содержания хлорофиллов а, b и каротиноидов на спектрофотометре Cary 50 (Varian, США).

Общий математический анализ данных проводили по стандартным методам вариационной статистики [8], с использованием программы статистического анализа данных STATISTICA 6.0 [9]. Дисперсионный анализ данных проводили в программе АВ-Stat, разработанной в Институте генетики и цитологии НАН Беларуси.

**Результаты и их обсуждение.** Семена проклюнулись на 9-10 день после посева. По показателям всхожести семян на 17-й день после посева проростки популяций “Ветчин” и “Марковское” под светодиодными лампами отставали от проростков под люминесцентными лампами на 8% и 20,5%, соответственно (таблица 1). Возможно, это связано с низким уровнем освещенности под светодиодными лампами – 1500 лк, поскольку при уровне освещенности в 4000 лк под аналогичными светодиодными лампами наблюдалось увеличение всхожести семян *Rhododendron Fortunei* более чем в 2 раза [10].

Согласно данным, полученным на 28, 38 и 72 дни поле посева семян (таблица 2), высота проростков популяции “Ветчин” под светодиодными лампами достоверно (при  $P<0,01$ ) превышала высоту проростков под люминесцентными лампами в 1,45; 1,13 и 1,48 раз, соответственно. Высота проростков популяции “Марковское” под светодиодной лампой достоверно (при  $P<0,01$ ) превышала высоту проростков под люминесцентными лампами в 1,60; 1,24 и 1,10 раз, соответственно.

Анализ изменчивости признака «количество настоящих листьев» выявил достоверное (при  $P<0,01$ ) превышение по данному признаку, в большинстве случаев, у растений популяции “Ветчин” под люминесцентными лампами на 38 и 72 дни после посева семян (таблица 2).

По признаку «площадь первого настоящего листа» достоверное (при  $P<0,05$  и  $P<0,01$ ) превышение в 1,07-1,27 раза чаще наблюдалось у растений двух исследуемых популяций под люминесцентными лампами (таблица 2). На 38 день было установлено достоверное (при  $P<0,01$ ) увеличение в 1,16 раз по данному признаку у растений популяции “Ветчин”.

Трехфакторный дисперсионный анализ установил высоко достоверное (при  $P<0,01$ ) влияние генотипа на изменчивость высоты проростков и площади первого настоящего листа. При этом доля влияния генотипа на изменчивость данных признаков составила 5,0% и 8,4%, соответственно (таблица 3). Высоко достоверным (при  $P<0,01$ ) оказалось влияние типа ламп на изменчивость высоты проростков (доля влияния фактора 9,2%) и количества настоящих листьев (доля влияния фактора 4,7%). На изменчивость площади листовой пластинки влияние типа ламп было достоверным при уровне значимости  $P<0,05$  (таблица 3).

Как и ожидалось, возраст растений оказывал высоко достоверное (при  $P<0,01$ ) влияние на изменчивость всех анализируемых признаков. Доля влияния возраста проростков, при этом, составила 80,1-91,3% (таблица 3). Комбинации исследуемых факторов генотип × тип лампы оказывали достоверное (при  $P<0,05$ ) влияние на изменчивость высоты проростков и площади листовой пластинки, доля влияния составила 0,9% и 1,3%, соответственно (таблица 3). Комбинация факторов тип лампы × возраст растений оказывала достоверное (при  $P<0,05$ ) влияние только на изменчивость высоты проростков, а комбинация всех трех исследуемых факторов (генотип × тип лампы × возраст растений) оказывала на изменчивость этого же признака высоко достоверное (при  $P<0,01$ ) влияние (таблица 3). Доля влияния комбинации всех трех факторов на высоту растений составила 2,3%. Достоверного влияния комбинации факторов генотип × возраст растений на изменчивость исследуемых признаков не выявлено (таблица 3).

При анализе массы было выявлено достоверное (при  $P<0,05$ ) превышение в 1,3 раза массы надземной части для проростков популяции «Ветчин» под светодиодными лампами (таблица 4). Масса подземной части у проростков исследуемых популяций под люминесцентными лампами оказалась достоверно (при  $P<0,01$ ) выше в 1,4-1,8 раза. Анализ изменчивости содержания фотосинтетических пигментов во всех случаях выявил достоверное превышение под светодиодными лампами: по хлорофиллу а – в 2 раза, по хлорофиллу b – в 2,4 раза, по каротиноидам – в 1,2-1,5 раза (таблица 4).

**Таблица 1 – Выхожесть семян *Rhododendron luteum* L. при разных условиях освещения**

Популяция	Тип лампы	На 9-й день, %	На 17-й день, %
Ветчин	Светодиодная	10	75
	OSRAM L 36W/76 <i>Natura</i>	24,5	83
Марковское	Светодиодная	7	33
	OSRAM L 36W/76 <i>Natura</i>	12	53,5

**Таблица 2 – Варьирование количественных признаков *Rhododendron luteum* L. при разных условиях освещения**

Популяция	Тип лампы	28 дней				38 дней				72 дня			
		ВР	КНЛ	ПНЛ	ВР	КНЛ	ПНЛ	ВР	КНЛ	ПНЛ	ВР	КНЛ	ПНЛ
Ветчин	С	<b>5,45±0,15**</b>	2,27±0,06	2,90±0,12	<b>6,92±0,24**</b>	3,20±0,09	<b>6,63±0,26**</b>	<b>12,88±0,47**</b>	6,92±0,18	<b>8,59±0,79**</b>	6,55±0,22		
	Л	3,77±0,12	2,80±0,09	3,18±0,14	6,12±0,27	<b>4,22±0,14**</b>	5,70±0,25	8,68±0,26	<b>7,02±0,27*</b>				
Марковское	С	<b>4,45±0,14**</b>	2,10±0,04	2,02±0,09	<b>5,69±0,19**</b>	3,20±0,11	4,52±0,17	<b>9,78±0,38**</b>	7,17±0,69	5,43±0,14			
	Л	2,78±0,09	2,69±0,09	<b>2,58±0,10*</b>	4,58±0,22	<b>4,73±0,35**</b>	<b>5,28±0,14**</b>	9,04±0,30	7,68±0,18	<b>6,24±0,18**</b>			
НСР <sub>05</sub>		0,51	0,59	0,37	0,51	0,59	0,37	0,51	0,59	0,37			
НСР <sub>01</sub>		0,72	0,84	0,52	0,72	0,84	0,52	0,72	0,84	0,52			

\* значимо при  $P < 0,05$ ; \*\* значимо при  $P < 0,01$ ; признаки: ВР – высота растения, мм; КНЛ – количество настоящих листьев, шт; ПНЛ – площадь первого настоящего листа, мм<sup>2</sup>; тип лампы: С – светодиодная; Л – люминесцентная OSRAM L 36W/76 *Natura*.

**Таблица 3 – Трехфакторный дисперсионный анализ варьирования признаков у *Rhododendron luteum* L. при разных условиях освещения**

Источник варьирования	Степени свободы	ВР			КНЛ			ПНЛ		
		Средний квадрат	Доля влияния, %	Доля влияния, %	Средний квадрат	Доля влияния, %	Средний квадрат	Доля влияния, %		
Общее	23	8,23	-	-	5,36	-	3,02	-		
Фактор А (генотип)	1	<b>9,37**</b>	4,95	0,03	0,03	0,03	<b>5,83**</b>	8,4		
Фактор В (тип ламп)	1	<b>17,36**</b>	9,17	4,64	<b>5,72**</b>	4,64	<b>0,62*</b>	0,89		
А×В	1	<b>1,67*</b>	0,88	0,05	0,06	0,05	<b>0,89*</b>	1,28		
Фактор С (возраст)	2	<b>75,85**</b>	80,12	91,32	<b>56,29**</b>	91,32	<b>29,46**</b>	84,94		
А×С	2	0,98	0,10	0,29	0,18	0,29	0,14	0,41		
В×С	2	<b>1,14*</b>	1,20	0,45	0,28	0,45	0,28	0,80		
А×В×С	2	<b>2,193**</b>	2,32	0,60	0,37	0,60	0,32	0,91		
Повторности	1	0,003	0,002	0,03	0,04	0,03	0,40	0,58		
Случайные отклонения	11	0,22	1,26	2,59	0,29	2,59	0,11	1,77		

\* значимо при  $P < 0,05$ ; \*\* значимо при  $P < 0,01$ ; признаки: ВР – высота растения, мм; КНЛ – количество настоящих листьев, шт; ПНЛ – площадь первого настоящего листа, мм<sup>2</sup>; тип лампы: С – светодиодная; Л – люминесцентная OSRAM L 36W/76 *Natura*.

**Таблица 4 – Варьирование количества фотосинтетических пигментов и массы у *Rhododendron luteum* L. при разных условиях освещения**

Популяция	Тип ламп	Содержание хлорофилла а, мг/г сырого веса		Содержание хлорофилла b, мг/г сырого веса		Содержание каротиноидов, мг/г сырого веса		Масса надземной части, мг		Масса корневой системы, мг		Масса общая (всего растения), мг	
		Ха, мг/г сырого веса	Хб, мг/г сырого веса	К, мг/г сырого веса	ДВ, %	СК	ДВ, %	СК	ДВ, %	СК	ДВ, %	СК	ДВ, %
Ветчин	С	1,25±0,145	0,59±0,07	0,45±0,05*	203,30±2,40*	24,75±1,75	228,05±0,65						
	Л	(0,59±0,25)	(0,25±0,11)	0,37±0,03	152,75±19,65	46,65±1,95**	199,4±21,6						
Марковское	С	1,29±0,09*	0,54±0,03*	0,57±0,08*	146,25±1,95	21,95±1,75	168,2±0,2						
	Л	0,61±0,17	0,25±0,07	0,37±0,02	150,20±19,90	30,65±0,05**	180,85±19,85						
НСР <sub>05</sub>		0,64	0,25	0,18	37,20	5,52	38,59						
НСР <sub>01</sub>		1,18	0,46	0,33	68,46	10,16	71,03						

\* значимо при  $P < 0,05$ ; \*\* значимо при  $P < 0,01$ ; признаки: ВР – высота растения, мм; КНЛ – количество настоящих листьев, шт; ПНЛ – площадь первого настоящего листа, мм<sup>2</sup>; тип лампы: С – светодиодная; Л – люминесцентная OSRAM L 36W/76 *Natura*.

**Таблица 5 – Двухфакторный дисперсионный анализ варьирования количества фотосинтетических пигментов и массы растений *Rhododendron luteum* L. при разных условиях освещения**

ИВ	df	Ха, мг/г сырого веса		Хб, мг/г сырого веса		К, мг/г сырого веса		Масса надземной части, мг		Масса корневой системы, мг		Масса растения (общая), мг	
		СК	ДВ, %	СК	ДВ, %	СК	ДВ, %	СК	ДВ, %	СК	ДВ, %	СК	ДВ, %
Общее	7	0,164	–	0,035	–	0,011	–	847,2	–	107,4	–	825,2	–
Фактор А (генотип)	1	0,002	0,199	0,001	0,424	0,008	10,678	1776,1	29,9	176,7*	23,5	3073,3*	53,2
Фактор В (тип ламп)	1	0,9*	78,57	0,196*	80,379	0,038	51,085	1085,8	18,3	468,2**	62,3	128,0	2,2
А×В	1	0,000	0,043	0,001	0,424	0,008	10,678	1485,1	25,0	87,1*	11,6	852,8	14,8
Повторности	1	0,000	0,031	0,009	3,872	0,001	1,112	764,4	12,9	1,8	0,2	840,5	14,5
Случайные отклонения	3	0,081	21,157	0,012	14,901	0,007	26,447	272,9	13,8	6,0	2,4	293,9	15,3

ИВ – источник варьирования; df – степени свободы; Ха – хлорофилл а; Хб – хлорофилл b;

К – каротиноиды; прочерк «-» означает отсутствие данных

В ходе двухфакторного дисперсионного анализа изменчивости массы проростков было выявлено достоверное влияние генотипа (при  $P < 0,05$ ), типа ламп (при  $P < 0,01$ ) и комбинации этих факторов (при  $P < 0,05$ ) на изменчивость массы корневой системы, при этом доля влияния данных факторов составила 23,5%; 62,3% и 11,6% соответственно (таблица 5). Обнаружено также достоверное (при  $P < 0,05$ ) влияние генотипа на изменчивость массы целого растения, при доле влияния 53,3%.

Двухфакторный дисперсионный анализ изменчивости содержания фотосинтетических пигментов при разных типах освещения выявил достоверное (при  $P < 0,05$ ) влияние типа ламп на изменчивость количественного содержания хлорофилла *a* и *b*. Доля влияния фактора оказалась существенной и составила 78,57% и 80,38% соответственно (таблица 5).

Таким образом, установлено, что освещение проростков двух исследуемых популяций (“Ветчин” и “Марковское”) *Rhododendron luteum* (L.) Sweet созданной светодиодной лампой приводит к достоверному (при  $P < 0,01$ ) увеличению высоты проростков в 1,45; 1,13 и 1,48 раз, соответственно на 28, 38 и 72 дни после посева семян, по сравнению с люминесцентными лампами.

Трехфакторный дисперсионный анализ выявил высоко достоверное (при  $P < 0,01$ ) влияние всех исследуемых факторов (генотип, тип ламп и возраст растений) на изменчивость высоты проростков и площади первого настоящего листа. На изменчивость признака «количество настоящих листьев» высоко достоверное (при  $P < 0,01$ ) влияние оказывали тип ламп и возраст растений, при доле влияния 4,64% и 91,32% соответственно. Комбинации факторов (за единственным исключением) оказывали достоверное влияние при различных уровнях значимости только на изменчивость высоты проростков.

Анализ изменчивости содержания фотосинтетических пигментов во всех случаях выявил достоверное превышение у растений под светодиодными лампами: по хлорофиллу *a* – в 2 раза, по хлорофиллу *b* – в 2,4 раза, по каротиноидам – в 1,2-1,5 раза.

Двухфакторный дисперсионный анализ выявил достоверное (при  $P < 0,05$ ) влияние фактора «тип ламп» на изменчивость содержания хлорофилла *a* и *b*. Обнаружено также достоверное влияние типа ламп на изменчивость массы корневой системы проростков (при  $P < 0,01$ ) и общей массы растений (при  $P < 0,05$ ).

Результаты исследований свидетельствуют о достоверном влиянии исследуемых светодиодных ламп на рост и развитие растений разных популяций *Rhododendron luteum* (L.) Sweet.

### Литература

1. Коновалова, Т.Ю. Декоративные деревья и кустарники: атлас-определитель / Т.Ю. Коновалова, Н.А. Шевырева. – М.: Фитон, 2008.-208 с.
2. Сауткина, Т.А. Определитель высших растений Беларуси / Т.А. Сауткина; под ред. В.И. Парфенова. – Минск: Дизайн Про, 1999. – 471 с.
3. Федоров, А.А. Жизнь растений. Т.5. Ч.2. Цветковые растения / А.А. Федоров; под ред. А.Л. Тахтаджяна. – М.: Просвещение, 1981. – 576 с.
4. Хейфиц, Л.А. Душистые вещества и другие продукты для парфюмерии / Л.А. Хейфиц, В.М. Дашунин. – М.:Химия, 1994. – 226 с.
5. Шульгин, И.А. Растение и солнце / И.А. Шульгин. – Л.: Гидрометиздат, 1973. – 251 с.
6. Тихомиров, А.А. Спектральный состав света и продуктивность растений / А.А. Тихомиров, Г.М. Лисовский, Ф.Я. Сидько. – Нс.: Наука Сиб. Отделение, 1991. – 168 с.
7. Юнович, А.Э. Современное состояние и тенденции развития светодиодов и светодиодного освещения / А.Э. Юнович // Светотехника. – 2007. – №6. – С. 13 – 17.
8. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
9. Боровиков, В.П. STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере / В.П. Боровиков. – СПб: Питер, 2001. – 650 с.
10. Кудряшова, О.А. Ускорение роста и развития растений рода *Rhododendron* L. *in vivo* с использованием оригинальной установки освещения на основе светодиодов / О.А. Кудряшова, А.А. Вологович, Т.В. Герасимович, А.А. Кудряшов, В.Л. Корнейчик // Веснік Палескага дзяржаўнага універсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2011. – № 1. – С. 25 – 33.