

ВЛИЯНИЕ СВЕТА КОМПАКТНЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП НА ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ СОСТАВ ХВОИ ABIES HOLOPHYLLA MAXIM

Вернигора Е.Г., к.б.н.

ГТС – филиал ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН

В данной статье приведены результаты исследований влияния спектрального состава света компактных люминесцентных ламп на элементарный состав фотосинтезируемой хвои. В опыте использованы 3-5 летние саженцы *Abies holophylla* в искусственном грунте. В качестве источника света использованы лампы с температурой свечения 2700, 4000, 6500 Кельвинов. Отмечено снижение содержания Na, Al, V, Fe, Mn, Cr, Ni, Cd, Pb, Th с уменьшением УФ-нагрузки, а концентрации Mg, K, As обратнопропорциональны. Накопление данных элементов в хвое связано с фотосистемой растений. Содержание радиоактивного элемента – Урана зависит только от его биодоступности в почве.

Ключевые слова: компактные люминесцентные лампы, элементарный состав, хвоя.

INFLUENCE OF LIGHT OF COMPACT LUMINESCENT LAMPS ON ELEMENTARY STRUCTURE OF NEEDLES ABIES HOLOPHYLLA MAXIM

E.G. Vernigora

In given article results of researches of influence of spectral structure of compact luminescent lamps on elementary structure of photosynthesized needles are resulted. In experience 3-5 summer saplings *Abies holophylla* in an artificial ground are used. As a light source lamps with temperature of a luminescence 2700, 4000, 6500 Calvins are used. Decrease in maintenance Na, Al, V, Fe, Mn, Cr, Ni, Cd, Pb, Th with Uf-loading reduction, and concentration Mg, K, As was inversely proportional. Accumulation of these elements in needles is interconnected with plants

photosystem. The maintenance of a radioactive element – Uranium depends only on its bioavailability in soil.

Keywords: Compact luminescent lamps, elementary structure, needles.

Введение

Для ламп освещения важным показателем является спектральное распределение [10]. Классические лампы накаливания имеют непрерывный спектр. В отличие от них, спектр компактных люминесцентных ламп (КЛЛ) имеет линейно-прерывистое строение. Это спектр, в котором могут отсутствовать некоторые длины волн. Белый свет – это всего лишь наложение всех длин волн, а его оттенки – это смещение суммы длин волн в красную или фиолетовую части спектра. Немаловажное значение имеет цветовая температура. Естественный свет имеет температуру свечения около 5000 К (Кельвинов), люминесцентные лампы производятся 2700-3000 К – теплый диапазон свечения, 3700-4200 К – дневной белый свет, 6000-6500 К – холодный дневной свет. В литературе описаны неоднозначная и негативная реакции разных видов растений на действие узкополосного сине-красного спектра, а также особенности морфогенетического действия света различных спектральных полос [3]. У каждого вида растений в процессе эволюции сформированы индивидуальные требования к освещению, поэтому, в оптимуме, источник искусственного освещения должен имитировать спектр физиологической активности фотосистемы растительного организма. Ранее было изучено влияние компактных люминесцентных ламп на мезоструктуру и пигментную систему вегетирующей хвои [1].

Целью этой работы было определить влияние освещения бытовых КЛЛ на количественный элементарный состав хвои первого года роста как наиболее информативного органа с точки зрения возможности использования качественного и количественного состава элементов в последующей диагностике степени адаптации растений [2]. Для достижения поставленной цели сформирована задача по определению количественного состава элементов

в вегетирующей хвое при разнокачественном освещении по окончании основного периода вегетации в искусственных условиях роста.

Материалы и методы

Для опыта использовали 4-5 летние саженцы *Abies holophylla* искусственного грунта, освещаемые компактными люминесцентными лампами разной спектральной температуры, пропорционально длине светового дня. Еженедельно корректировали длительность освещения пропорционально длине светового дня. Солнечный свет был исключен, перекрестное освещение предотвращено непрозрачным материалом. Элементарный состав определен методом ИСП МС (индуктивно-связанной плазмы) на аналитическом комплексе ICP MS Bruker Aurora M90, позволяющий с высокой точностью обчислить содержание любых ионов с металлическими свойствами, которые при горении в аргоновой плазме не дают летучих оксидов типа H_2O . Содержание пролина как стресс-фактора определено по методике Бейтса [11].

Пробоподготовка состояла из нескольких шагов. Хвоя первого года была собрана с пяти экземпляров каждой опытной группы саженцев 1 августа 2015 г, просушена в течение месяца в фильтровальной бумаге в темном месте до полного обезвоживания при комнатной температуре для СВЧ-разложения. Затем приготовлены навески хвои 0,5 г и подвергнуты микроволновому разложению в СВЧ-камере «Berghoff», залитые 5 мл концентрированной азотной кислоты. После микроволновой обработки полученные растворы минерализатов доведены до 50 мл объема водой 1 категории чистоты по ГОСТ Р 52501-2005. В качестве калибровочного использован мультиэлементный раствор фирмы Inorganic Ventures. Готовые растворы подвергнуты анализу в 2-х повторностях. Средние показатели и среднеквадратичные отклонения в пересчете на сырой вес обчислены программой управления оборудованием Quantum.

В опыте использовали лампы с температурами свечения 2700 К, 4000 К, 6500 К торговой марки Навигатор равной электрической мощности, которая составила 20 Вт (световая мощность 100 Вт), в качестве контроля отличий

качества света использовали стандартную лампу накаливания эквивалентной мощности (по данным производителя). Расстояние от источника света до объектов составила 35 ± 7 см. Замеры параметров освещения проведены люксметром ПКМ 42. Условия опыта представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Интенсивность освещения саженцев и температура воздуха на уровне объектов опыта.

Условия опыта	Температура воздушной среды под лампами, °C	Общая освещенность, лк	УФ-освещенность, МВт/м ²
Контроль	21,5	4200	190
2700 К	20,7	3010	163
4000 К	20,2	2570	126
6500 К	20,0	1800	80

При равной электрической мощности ламп с увеличением их температуры свечения уменьшаются нагрев растений, интенсивность освещения и УФ-поток под ними. В результате, максимальному нагреву были подвержены саженцы под обыкновенными лампами накаливания, минимуму – под холодным светом в 6500 К, с увеличением цветовой температуры освещения снижалась интенсивность падающего света и УФ-нагрузка на фотосинтезирующую хвою.

Результаты и обсуждение

В настоящее время нет четкого деления на макро- и микроэлементы по отношению к растительным организмам. У разных авторов приводятся отличные классификации [4]. По уточненным данным из металлических элементов только калий относят к макроэлементам. К мезоэлементам причислены кальций и магний. В группу микроэлементов входят бор, молибден, цинк, медь, кобальт, марганец, барий, натрий, титан, серебро, ванадий, железо, никель, селен, литий, алюминий. Остальные элементы являются ультраэлементами ввиду очень низких концентраций и неустановленной их роли в растении. Перечень и концентрации проанализированных элементов представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2 – Элементы с высоким содержанием в хвое первого года вегетации в разных условиях освещения (мкг/кг) сырого веса.

Температура освещения	Be9	Na	K39	Mg
контроль	720±212	1456±146	85262±124	459,2±56
2700 К	711,0±220	1546,7±156	8460,4±122	497,0±78
4000 К	1091,0±223	445,6±45	9354,8±476	501,8±80
6500 К	2152,5±55	473,8±55	11963,3±226	646,8±107
	Ba	Al	Zn	Cu
контроль	107180±2300	80117,5±3501	88001±2501	10786,7±3547
2700 К	102105,0±2511	81682,0±3675	87604±2461	10476,0±3457
4000 К	81502±3855	74665,2±2613	56083±2226	9558,4±1242
6500 К	81270,0±2950	72833,3±2112	72875±7017	10314±928
	Fe56	Mn	Ni	Cr
контроль	856,4±86	165431±10112	8835,3±1556	15900±986
2700 К	886,1±120	162436,1±12994	8757,2±1576	15743±944
4000 К	622,0±76	105126,0±6938	8497,8±1274	14497±1304
6500 К	682,3±84	87753,2±5952	7056,4±1199	11026±1323

Таблица 3 – Элементы с низким содержанием в хвое первого года вегетации в разных условиях освещения (мкг/кг) сырого веса.

Температура освещения	Co59	V51	Ag	Tl
контроль	152,3±72	335,7±158	107,1±39	5,0±1,2
2700 К	164,4±82	336,6±144	106,3±46	5,1±1,3
4000 К	182,8±58	254,8±220	105,1±34	2,5±1,3
6500 К	140,4±71	135,5±103	54,8±14	2,7±1,1
	As	Se	Cd	Pb
контроль	72,5±45	229,4±290	8029,9±192	991,9±41
2700 К	41,7±58	269,8±306	8118,8±202	1071,7±35
4000 К	140,9±46	163,5±347	7033,5±555	867,9±56
6500 К	130,4±31	40,2±24	5071,6±182	672,6±38
	Th	U		
контроль	8,65±1,6	14,62±1,7		
2700 К	8,28±1,1	13,81±1,6		
4000 К	7,07±1,5	12,92±1,5		
6500 К	3,54±0,9	10,06±0,7		

Созданные условия вегетации с увеличением цветовой температуры освещения изменялись в отрицательную сторону для саженцев *Abies holophylla*. В подтверждение этому содержание пролина как стресс-фактора хвои в

анализируемом ряду освещенности – контроль, 2700 К, 4000 К, 6500 К изменялось в среднем соответственно: 3,9; 4,3; 3,6; 5,6 мкг/г сырого веса хвои. Смещение температуры освещения в сторону увеличения способствовало большему содержанию аминокислоты пролина в вегетирующей хвое. Соответственно, максимум негативного влияния оказывал свет с температурой свечения в 6500 К из-за низкого УФ-излучения.

В теории, накопление элементов с падением фотосинтетической активности также должно уменьшаться. На практике, исходя из полученных данных, концентрации элементов неоднозначны. Снижение УФ-излучения понижает концентрации Na, Al, V, Fe, Mn, Cr, Ni, Cd, Pb, Th, которые работают в ферментативных системах, где являются образующими ионами, синергистами, конкурентами либо токсикантами. В противовес ионам Na содержание ионов K увеличивается, т.к. эти два элемента регулируют Na-K насос физиологически активных клеток, к тому же калий участвует в защитных реакциях растений от негативного влияния среды [4]. Концентрация Mg была пропорциональна увеличению содержания хлорофиллов, содержание которых увеличивается в хвое с падением качества освещения, особенно отлично для 6500 К (табл. 4).

Таблица 4 – Содержание пигментов в хвое первого года *Abies holophylla* М. в разных условиях освещения.

Вариант опыта	Содержание пигментов, мг/1г сырой навески					Отношение	
	A _a	A _b	A _{a+b}	A _{кар}	A _{a+b+кар}	a/b	$\frac{\Sigma_{a+b}}{\Sigma_{кар}}$
Контроль	1,33±0,04	0,62±0,05	1,95±0,09	0,27±0,01	2,22±0,10	2,15	7,22
Теплый свет (2700 К)	1,31±0,03	0,55±0,02	1,86±0,05	0,26±0,01	2,12±0,06	2,38	7,15
Дневной свет (4200 К)	1,24±0,02	0,53±0,03	1,77±0,05	0,24±0,01	2,01±0,06	2,34	7,38
Холодный свет (6500 К)	1,21±0,03	0,47±0,04	1,68±0,07	0,25±0,01	1,93±0,08	2,57	6,72

В целом с учетом ошибки, различия не столь существенны, однако носят информативный характер.

Отмечено трехкратное накопление бериллия при освещенности 6500 К, чем под светом в 2700 К, его физиологическая роль в растениях до конца не

ясна, относится к токсическим веществам первой категории, считается малофункциональным элементом для растений [9]. Определен небольшой «провал» в концентрациях цинка и меди и увеличение содержания кобальта на 4000 К, которые участвуют в азотистом обмене веществ, катализе биохимических реакций обмена сахаров и жиров [6,7]. Снижение содержания меди и цинка, «ответственных» за регуляцию фотосистемы хвойных растений, предположительно, при некачественном освещении включают реакции, стимулирующие накопление кобальта в фотосинтезируемой хвое. Подобный эффект проявляется в растениях при переходе к режиму покоя, когда увеличивается доля синтеза липоидов, способствующих благополучной зимовке зеленых тканей. Пропорциональная зависимость содержания кадмия и цинка, описанная в работах Ю.Ю. Дубцовой [5], не установлена. В нашем опыте концентрация тяжелого металла снижается независимо от концентрации цинка в холодном свете, который в нашем опыте является фотозависимым элементом. Выделено утроение содержания мышьяка в неблагоприятных условиях освещения, роль его в адаптации фототрофных тканей растений не определена, является условно важным элементом [8]. Накопленные концентрации тяжелых серебра, таллия, свинца, тория взаимосвязаны с качеством освещения, но их накопление зависит более от метаболических связей, их содержание в хвое снижалось. Выделена инертность урана в обменных процессах, судя по его стабильным концентрациям с учетом ошибки среднего независимо от условий освещения.

В общем, значительные концентрации определены для макроэлементов Al, Ba, Zn, Mn, Cr, минимальные для ультраэлементов Tl, Se, Th, U – редкоземельных металлов, содержание в хвое всех элементов зависит от их метаболической роли в растении и почвенного содержания. Так типичный макроэлемент калий содержится в меньших количествах, чем микроэлементы марганец и барий, которые по содержанию в хвое можно отнести к мезоэлементам.

Выводы

Определена группа фотозависимых элементов, концентрация которых в тканях хвои зависит от качества освещения, среди них Na, Al, V, Fe, Mn, Cr, Ni, Se. Количество K и Mg, As возрастает пропорционально качеству светового потока, эти элементы, предварительно, можно отнести к элементам адаптогенам. Уран не участвует в фотометаболизме, его содержание в хвое зависит только от биодоступности в почве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернигора, Е.Г. Влияние компактных люминесцентных ламп на структуру хвои *Abies holophylla* Maxim. / Вернигора Е.Г., Титова М.С. // Успехи современной науки и образования. – №9. Т. 4. Белгород, 2016 г. – С. 31-35.
2. Винокурова, Р.И. Специфичность распределения макроэлементов в органах древесных растений елово-пихтовых лесов республики Марий-эл. / Винокурова Р.И., Лобанова О.В. // Вестник МарГТУ. – №2. 2011. – С. 76-83.
3. Вязигин, В.Л. Электрическое освещение. / Вязигин В.Л. // ОмГТУ. – Омск, 2007. – 84 с.
4. Гудков, И.Н. Роль микроэлементов в противорадиационной защите растений и животных на загрязненной территории полесья. / Гудков И.Н. и др. // Радиационная биология. Радиоэкология. – №1. Т.51. 2011 г. – С. 33-40.
5. Дубцова, Ю.Ю. Экологическая роль комплексообразования кадмия и цинка с биологически активными лигандами в тканях растений. / Дубцова Ю.Ю. – Автореф. канд. биол. наук. Новосибирск, 2004. – 16 с.
6. Роль минеральных элементов в обмене веществ и продуктивности растений / сб. науч. тр. под ред. Журбицкого. – М., Наука, 1964. – 359 с.
7. Немойкина, А.Т. Совместное действие света разного спектрального состава и экзогенных гормонов на мезоструктуру *Yucca elephantipes* R. в культуре *in vitro*. / Немойкина А.Т., Карначук Р.А. // Электронный журнал «Исследовано в России». – С. 1930-1937. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2002/174.pdf>.
8. Попов, А.И. Химические элементы плодов голубики (*Vaccinium uliginosum* L.) семейства вересковые (Ericaceae Juss.) / А.И. Попов, С.Н.

Кравченко, Ю.Н. Дементьев, А.Г. Кожура // Вестник Кемеровского государственного университета. – №2 (58). 2014. – С. 22-29.

9. Сибиркина, А.Р. Особенности накопления бериллия различными видами трав соснового бора семипалатинского Прииртышья / Современные проблемы науки и образования. – №3. 2012. – 306 с.

10. Справочная книга по светотехнике / ред. Ю.Б. Айзенберг и др. – 3-е изд. перераб. и доп. М. Знак, 2006. – 972 с.

11. Шихалеева, Модифицированная методика определения пролина в растительных объектах / Шихалеева Г.Н., Будняк О.К., Шихалеев И.И., Иващенко О.Л. // Вестник Харьковского университета. Серия Биология – Харьков. Украина. 2014. Вып. 21. № 1112. – С. 168-172.

Сведения об авторе:

Вернигора Евгений Геннадьевич, старший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Горнотаежная станция им. Комарова – филиал ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН», 693533, Уссурийский район, с. Горнотаежное, ул. Солнечная 26. тел. 8 (4234) 391119, 372811, e-mail: kucher27@ya.ru