

УДК 628.95

UDC 628.95

**ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ
ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ
СВЕТОДИОДНОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ
НА ЛИСТОВОЙ САЛАТ В ЗАЩИЩЕННОМ
ГРУНТЕ****ESTIMATES OF THE INTENSITY OF
ARTIFICIAL LIGHTING OF A LED
IRRADIATOR OF LETTUCE IN
GREENHOUSES**

Ефремов Никита Сергеевич
преподаватель кафедры электроснабжения и
технической диагностики
Почтовый адрес: 424000, Республика Марий Эл,
Йошкар-Ола, пл. Ленина 1, eef@marsu.ru

Efremov Nikita Sergeevich
lecturer of the Department of electrical and technical
diagnostics
Mailing address: 424000, Republic of Mari El,
Yoshkar-Ola, pl. 1 Lenin, eef@marsu.ru

*ФБГОУ ВПО «Марийский государственный
университет». Россия, Йошкар-Ола*

*FBGOU VPO Mari State University, Yoshkar-Ola,
Russia*

В настоящее время искусственное облучение
рассады листового салата производят
газоразрядными лампами, которые имеют низкий
энергетический КПД и значительную долю
спектра в зеленой области. Светодиодные чипы
можно подобрать таким образом, чтобы
обеспечить максимум фотосинтеза листового
салата с оптимальным потреблением
электрической энергии

Currently, artificial irradiation of lettuce seedlings is
produced with gas discharge lamps that have a low
energy efficiency and a significant proportion of the
spectrum in the green region. LED chips can be
chosen in such a way as to ensure maximum
photosynthesis of lettuce with optimal consumption of
electrical energy

Ключевые слова: ИСКУССТВЕННОЕ
ОБЛУЧЕНИЕ, СВЕТОДИОДНЫЙ ОБЛУЧАТЕЛЬ,
ЗАЩИЩЕННЫЙ ГРУНТ

Keywords: ARTIFICIAL IRRADIATION, LED
ILLUMINATOR, PROTECTED GROUND

Рост и развитие растений тесно связаны с условиями окружающей среды. Умение создавать такие условия, соответствующие требованиям растений, – залог получения высоких урожаев. Для обеспечения максимальной продуктивности растений нужно знать их отношение к факторам окружающей среды. Лучистая энергия, тепло, вода, минеральное питание и газовый состав воздуха являются необходимыми условиями для жизнедеятельности растений, поэтому для нормального роста и развития растений необходимо создать оптимальные условия. Как правило, основным фактором управления жизнедеятельностью растений в условиях светокультуры является световой фактор. Лучистая энергия, получаемая с помощью искусственных источников света – одна из наиболее затратных статей расходов на выращивание растений в условиях светокультуры. Поэтому, для экономики светокультуры важное значение имеет эффективное использование световой энергии. В то же время

интенсивность и спектральный состав света, его периодичность являются мощным фактором управления различными сторонами жизнедеятельности растений.

Однако, несмотря на значительный опыт выращивания растений при искусственном облучении, в настоящее время нет единого взгляда на оптимальные уровни облученности растений и спектральный состав излучения в ростовой зоне, применительно к определенным видам растений. Практически в каждом случае при разработке технологий круглогодичного производства того или иного вида овощной продукции, требуется создание оригинальной системы облучения, в наибольшей степени отвечающей физиологическим потребностям выращиваемых растений. При этом следует учитывать влияние способа организации светового потока на другие составляющие технологий светокультуры - температурные условия выращивания и минеральное питание растений.

Как отмечают в публикациях авторы, уровни искусственного облучения продукции листового салата варьируют в широких пределах. Так, ЗАО "Агрокомбинат "Московский" – лидер в овощной отрасли создает на кассетах листового салата от 170 до 240 мкмоль/м²с [1]. В Республике Марий Эл также функционирует тепличное хозяйство ООО "Гринпрайс", которое специализируется на выращивании листового салата сорта "Ромэн". В результате измерения фотосинтетически активной радиации (ФАР) в теплицах мы получили значения от 60 до 120 мкмоль/м²с. Как можно заметить, разброс в уровнях облучения значительный. Одновременно с этим в [2] упоминается, что для нормального роста зеленой культуры необходимо обеспечить 25 Вт/м², что составляет около 120 мкмоль/м²с.

Кроме того, стоит отметить, что в основном в качестве источников искусственного освещения используют газоразрядные лампы. Данный тип ламп имеет ряд недостатков, основной из которых низкий энергетический

КПД. Наиболее популярные отечественные лампы – ДНаЗ Reflux, имеют существенную долю излучения в зеленой области спектра, которой, как показали исследования, нужна в незначительном количестве. В связи с программами энергосбережения вопросы снижения издержек стоят достаточно остро [3]

Эксперименты показали, что световые кванты из диапазона ФАР неодинаково эффективны для инициирования фотосинтеза в хлоропластах листа. На основании вышеизложенного нами был разработан облучатель на базе светоизлучающих диодов, который может работать в двух режимах. Мощность светодиодного облучателя составляет 60 и 160 Вт для двух режимов, соответственно, которая приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики разработанного светодиодного облучателя

Параметр	1 режим (60 Вт)	2 режим (160 Вт)
Значение лучистого потока светодиодного облучателя, мкмоль/с	75	196
Соотношение красных / зеленых / синих светодиодных чипов по электрической мощности, %	33/25/42	78/10/12

Соотношение светоизлучающих диодов подбиралось на основании литературного обзора и требованиям к продукции листового салата. Светодиодные чипы, которые используются в облучателе, приведены в таблице 2. В результате поиска светодиодных чипов из доступных каталогов были выбраны светодиоды от фирм Philips серии Lumileds и LedEngin. LedEngin является единственной фирмой, которая может поставить ультрафиолетовые светодиодные чипы. Пятьдесят светодиодов мощностью 1 Вт выбраны от фирмы Philips, остальные красные десятиваттные и ультрафиолетовый – от фирмы LedEngin.

Таблица 2 – Характеристика светодиодного облучателя

Параметр	Светодиодные чипы					Всего
	Красные 1 Вт	Красные 10 Вт	Зеленые 1 Вт	Синие 1 Вт	Ультрафи- олетовые 10 Вт	
Маркировка светодиодного чипа	LXM3- PD01- 0350	LZ4- 00R200	LXML- PM01- 0100	LXML- PR01- 0500	LZ4- 00UA10	
Количество светодиодных чипов, шт	25	10	15	10	1	-
Электрическая мощность, Вт	25	100	15	10	10	160
Мощность ФАР одного светодиодного чипа	0,36	2,2	-	0,52	2,2	-
Общее значение мощности ФАР, Вт	9	22	-	5,2	2,2	38,4
Общее значение плотности потока фотонов, мкмоль·м ⁻² ·с ⁻¹	49,6	120,34		19,08	7,34	196,35

В качестве объекта облучения был выбран листовой салат сорта "Ромэн". Данный сорт салата в наше время особенно ценен как источник витаминов А и С, а также кальция и железа.

В целях исследования влияния разработанного светодиодного облучателя на продуктивность листового салата была построена лабораторная установка, вид которой дан на рисунке. Лабораторная установка состоит из двух камер длиной 2 метра и шириной 1 метр. Высота составляет 2,5 метра. Стены установки оклеены алюминиевой фольгой на бумажной основе, полы – белой жстью. Установка не герметична и имеет приток воздуха как снизу, так и сверху. За счет принудительной циркуляции воздуха в установке происходит постоянный воздухообмен. Установки расположены в помещении, изолированном от солнечного света. Помещение оборудовано вентиляторами для обеспечения притока свежего воздуха, а также увлажнителями воздуха в

целях поддержания оптимальных температурно-влажностных характеристик. Данное оборудование управляется таймерами.

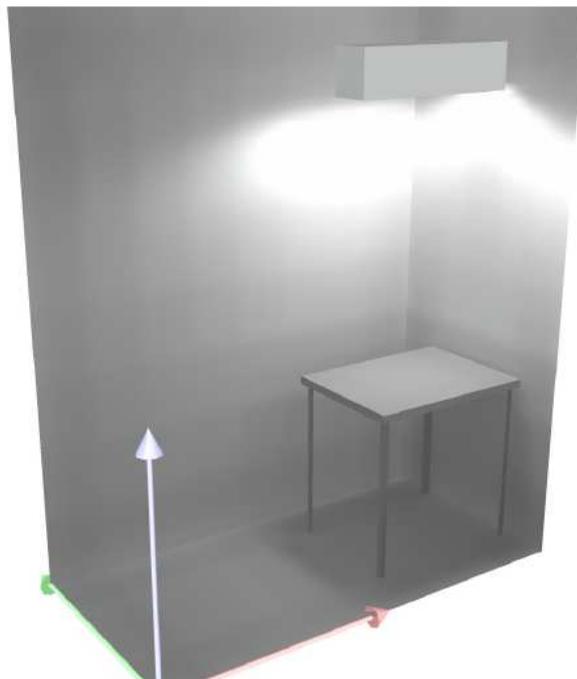


Рисунок 1. Вид экспериментальной камеры

Опыты проводили в течение 2013–2014 гг. В качестве контрольной лампы использовали натриевые лампы ДНаЗ Reflux 400 со светильниками ЖСПИ 20-400, которые также используются в ООО "Гринпрайс", характеристики которой приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Спектральные характеристики ДНаЗ Reflux 400 (количество фотонов, испускаемых в данном спектральном интервале, в % от общего числа испускаемых фотонов)

Источник света	Диапазоны длин волн, нм				
	300-400	400-500	500-600	600-700	700-1100
ДНаЗ (Reflux)	-	6	31	26	37

Для поджига ламп использовали электромагнитные дросселя с импульсно-зажигающими устройствами.

Температурно-влажностный режим при досветке рассады салата приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Температурно-влажностный режим во время опытов

Камера с лампой	Влажность, %	Температура воздуха, день, °С	Температура воздуха, ночь, °С
ДНаЗ Reflux 400	60-70	20-22	18-20
Светодиодный облучатель	60-70	20-22	18-20

Уровень облученности рассады регулировался с помощью изменения высоты подвеса светильника с лампами. Интенсивность лучистого потока проводили прибором Li-Cor 250 с относительной погрешностью 0,4 %. Отклонение облученности по отдельным точкам над ценозами не превышало ± 15 % от среднего значения.

Измерения температурно-влажностного режима при досветке рассады салата проводили прибором testo 610 с относительной погрешностью 2,5 % по влажности. Абсолютная погрешность по температуре равна 0,5°С.

Для выращивания салата были применена гидропонная установка Cutting Board 27 фирмы GHE – лидера в области гидропонных технологий Европы. Установка содержит 27 отверстий для горшочков диаметром 50 мм и высотой 50 мм. Однако в опыте использовали не более 18 штук. Это связано с их частым расположением и опасением, что образцы салата в процессе роста будут затенять рядом стоящие образцы. Горшочки заполняли на 50 % керамзитом, на 50 % – землей. В каждый горшочек высаживали по 3 семени. После всходов на 5 день все горшочки с рассадой выравнивали до 2-х всходов, чтобы не зависеть от процента всхожести.

Электропроводность измеряли электронным TDS метром фирмы HM Digital с относительной погрешностью в 2 %. Принцип действия измерителя жесткости воды (солемера) основан на прямой зависимости

электропроводности от количества растворенных в воде соединений солей жесткости, пересчитанных в ppm (мг/л). Значение электропроводности поддерживали на уровне 1000 ppm. В качестве удобрений использовали комплексные удобрения на калии, азоте, фосфоре с добавлениями микроэлементов.

Пробы, взятые на каждый анализ, составляли по 2–3 растения салата. В каждой биологической повторности анализы брали через каждые 5 суток.

На 20-й и 40-й дни пробы салата отдавали в лабораторию Министерства сельского хозяйства Республика Марий Эл на определение качества продукции.

В первой и второй группе опытов использовали светодиодный облучатель на 60 Вт, в третьей – 160 Вт, характеристики которого приведены в таблице 1. Значения лучистого потока, измеренного над кассетами с салатом, приведено в таблице 4. Требуемое значение получали за счет изменения высоты подвеса светильника с источником света.

Таблица 4 – Значение фотосинтетически активной радиации над кассетами салата

Опыты	ДНаЗ Reflux 400	Светодиодный светильник (60 Вт)	Светодиодный светильник (160 Вт)
	Плотность потока фотонов, мкмоль·м ⁻² ·с ⁻¹	Плотность потока фотонов, мкмоль·м ⁻² ·с ⁻¹	Плотность потока фотонов, мкмоль·м ⁻² ·с ⁻¹
Первая группа опытов (ПГО)	85,5	52	-
Вторая группа опытов (ВГО)	119	70	-
Третья группа опытов (ТГО)	141	-	85

Оценку образцов листового салата проводили по количественным и качественным показателям. В качестве количественного показателя был

выбран вес одной кассеты салата, качественные характеристики оценивали в лаборатории Министерства сельского хозяйства Республики Марий Эл. Оценить рост биомассы листового салата в зависимости от интенсивности искусственного освещения можно по рисунку 2. В третьей группе опытов эксперименты были остановлены на 33 день ввиду удовлетворения салата критерию товарной продукции согласно [5]. Как полагают стандарты, товарная продукция салата составляет 100 грамм.

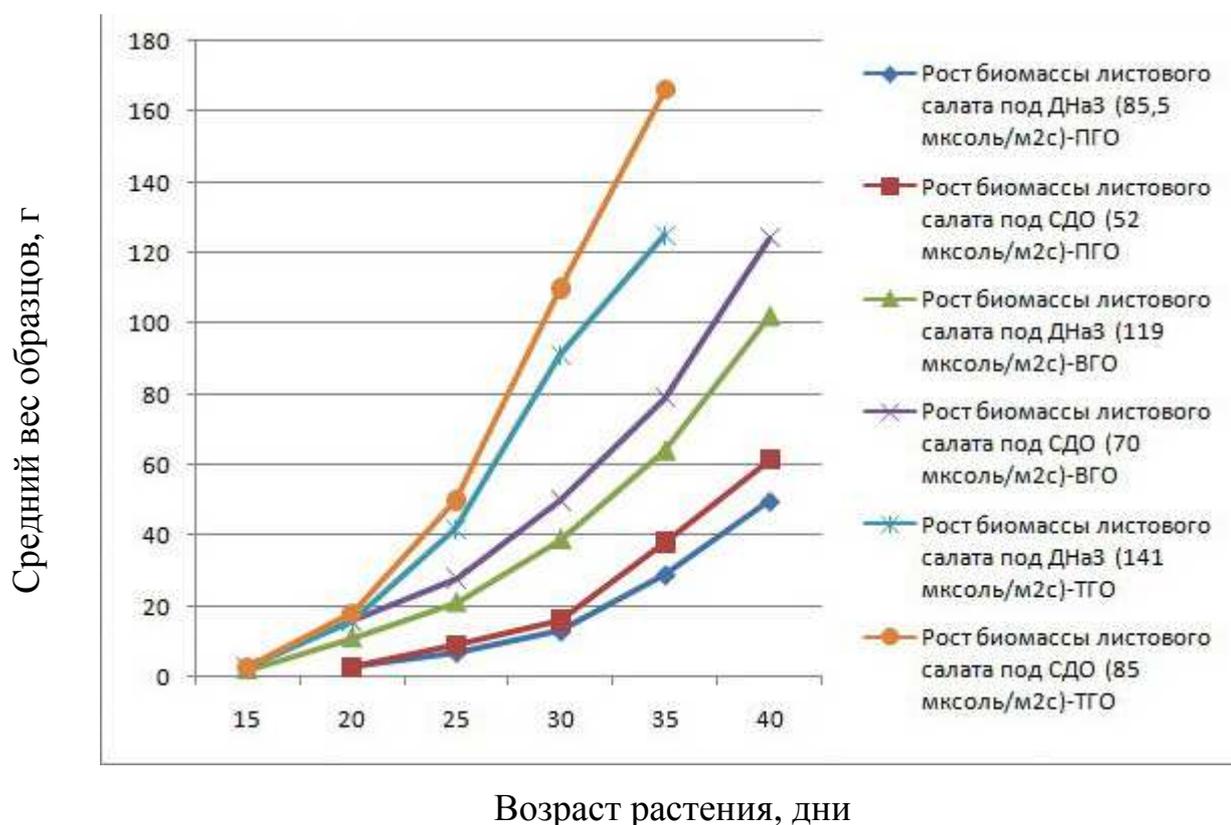


Рисунок 2. Рост биомассы листового салата в зависимости от интенсивности искусственного освещения лампами ДНаЗ Reflux 400 и светодиодным облучателем (СДО): ПГО – первая группа опытов, ВГО – вторая группа опытов, ТГО – третья группа опытов

Оценивая рисунок 1, можно сделать вывод, что разработанный светодиодный облучатель в обоих повторностях опытов дает лучшие результаты по приросту биомассы. Как видно, при уровнях облученности в 119 мкмоль/м²с, что соответствует реальным уровням на предприятии ООО "Гринпрайс", рост биомассы салата был ниже, чем за счет

светодиодного облучателя, электрическая мощность которого составляет всего 160 Вт против 400 Вт у ДНаЗ Reflux 400.

К качеству салата применены требования, которые описаны в ГОСТ Р 54703-2011 [5]. Согласно этому ГОСТ салат проверяют на нитраты по [6], допустимая норма которых не должна превышать 3000 мг/кг для салата, выращенного в защищенном грунте. Результаты анализа отражены в таблице 5. Остальные биохимические показатели были определены с целью оценки протекания фотосинтеза. Незначительное отличие в пользу светодиодного облучателя свидетельствует о возможности замены или дополнения натриевых ламп высокого давления светодиодными облучателями.

Таблица 5 – Результаты лабораторных исследований образцов листового салата

Показатели растений	Возраст растения			
	20 дней		40 дней	
	Натриевая лампа	Светодиодная лампа	Натриевая лампа	Светодиодная лампа
Сырая масса растения, гр	11	18	108	129
Сухое вещество, %	6,59	5,07	18,1	26,4
Каротин, мг/кг	9,66	9,20	16,28	15,9
Каротиноиды, мг /кг	11,28	11,06	203,69	208,51
Нитраты, мг/кг	919	1456	3113	1711

Стоит отметить, что листовый салат, выращенный под разработанным светодиодным облучателем, обладал более низким содержанием нитратов, что также положительно отражает разработанный облучатель.

В настоящее время ведутся опыты по увеличению уровней облучения светодиодным облучателем, а также комбинированного облучения рассады листового салата натриевыми лампами высокого давления совместно с разработанным светодиодным облучателем.

Список литературы

1. Повышение эффективности светокультуры на салатных линиях благодаря использованию светильников с лампами Reflux (на базе ЗАО “Агрокомбинат “Московский”). Ассоциация «Теплицы России» – интернет ресурс
2. НТП 10-95 Нормы технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады утвержден 01.07.1996 Минсельхозпрод РФ
3. Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон: [принят Гос. Думой 11 ноября 2009 г. : одобр. Советом Федерации 18 ноября 2009 г.] // Российская газета. – 2009. – № 5050.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) – 5-е изд., доп и перераб / Б.А. Доспехов, М., Агропромиздат, 1985 г. 351 с.
5. ГОСТ Р 54703-2011 – Салат-латук, эндивий кудрявый, эндивий, эскарпиол свежие. Технические условия. М., Стандартинформ, 2014 г.
6. МУ 5048-89 Определение нитратов и нитритов в продукции растениеводства. М, 1989 г.

References

1. Povyshenie jeffektivnosti svetokul'tury na salatnyh liniyah blagodarja ispol'zovaniju svetil'nikov s lampami Reflux (na baze ZAO “Agrokombinat “Moskovskij”). Associacija «Teplicy Rossii» - internet resurs
2. NTP 10-95 Normy tehnologicheskogo proektirovanija teplic i teplichnyh kombinatov dlja vyrashhivaniya ovoshhej i rassady utverzhdjen 01.07.1996 Minsel'hozprod RF
3. Rossijskaja Federacija. Zakony. Ob jenergoberezhenii i o povyshenii jenergeticheskoj jeffektivnosti i o vnesenii izmenenij v ot del'nye zakonodatel'nye акты Rossijskoj Federacii: feder. zakon: [prinjat Gos. Dumoj 11 nojabrja 2009 g. : odobr. Sovetom Federacii 18 nojabrja 2009 g.] // Rossijskaja gazeta. – 2009. - № 5050.
4. Dospehov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij) - 5-e izd., dop i Pererab / B.A. Dospehov, M., Agropromizdat, 1985 g. 351 s
5. GOST R 54703-2011 - Salat-latuk, jendivij kudrjavij, jendivij, jeskariol svezhie. Tehnicheskie uslovija, M., Standartinform, 2014 g.
6. MU 5048-89 Opreделение nitratov i nitritov v produkcii rastenievodstva, M, 1989 g.