

УРОЖАЙНОСТЬ САЛАТНОЙ ЛИНИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ В ЗИМНИХ ТЕПЛИЦАХ НА СЕВЕРЕ



THE YIELD OF LETTUCE BREEDING LINE UNDER LED LAMPS IN WINTER GREENHOUSE IN THE NORTH

Далькэ И.В.¹ – к.б.н., с.н.с. лаборатории экологической физиологии растений
Захожий И.Г.¹ – к.б.н., н.с. лаборатории экологической физиологии растений
Малышев Р.В.¹ – к.б.н., н.с. лаборатории экологической физиологии растений
Григорай Е.Е.² – к.с.-х.н., заместитель генерального директора по производству
Табаленкова Г.Н.¹ – д.б.н., в.н.с. лаборатории экологической физиологии растений
Дымова О.В.¹ – к.б.н., с.н.с. лаборатории экологической физиологии растений
Головко Т.К.¹ – проф., д.б.н., зав. лаборатории экологической физиологии растений
Каракайтис Е.Ю.³ – генеральный директор

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН
167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, д. 28
E-mails: dalke@ib.komisc.ru, zakhozhiy@ib.komisc.ru, malrus@ib.komisc.ru, tabalenkova@ib.komisc.ru, dymovao@ib.komisc.ru, golovko@ib.komisc.ru
² ООО «Пригородный»
г. Сыктывкар
E-mail: agriee@mail.ru
³ ООО «Группа компаний «Световые и Электрические Технологии»
Россия, г. Пермь, ул. Беляева, д. 29а
http://ecoled.ru
E-mail: info@ecoled.ru

Исследовали накопление биомассы и качество урожая листового салата сорта Афицион, культивируемого в зимнем обороте под светодиодными светильниками «ECOLED-BIO-112-185W-D120 UniversaLED» (ООО «ГК «СЭТ», г. Пермь) в производственной теплице ООО «Пригородный» (г. Сыктывкар). В двух циклах выращивания (ноябрь-декабрь и декабрь-январь) получена товарная продукция. Урожайность надземной биомассы составила 2.4 кг/м² при плотности потока ФАР около 90 мкмоль квантов/м² с (20 Вт/м²) и суммарном поступлении к растениям 54 МДж/м² световой энергии от LED-светильников. В расчете на моль потраченной световой энергии растения синтезировали около 0.5 г сухой массы. КПД ФАР составил 3%, что сопоставимо с данными, полученными ранее с использованием натриевых ламп высокого давления (ДНАЗ). Сделано заключение о пригодности данного типа светодиодных светильников для культивирования салата в зимнем обороте в условиях первой световой зоны. Для повышения продуктивности и биологической ценности продукции рекомендовано увеличить продолжительность досвечивания в декабре до 22-24 ч, в январе – до 20-22 ч, что позволит повысить поступление ФАР к растениям за цикл выращивания в среднем на 35%.

Ключевые слова: салат-латук, сорт Афицион, урожайность, зимний оборот, светодиодные светильники.

Dalke I.V.¹,
Zakhozhiy I.G.¹,
Malyshev R.V.¹,
Grigoray E.E.²,
Tabalenkova G.N.¹,
Dymova O.V.¹,
Golovko T.K.¹,
Karakaytis E.Y.³

¹ Laboratory of Ecological Plant Physiology, Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IB Komi SC UB RAS), Syktyvkar
E-mails: dalke@ib.komisc.ru, zakhozhiy@ib.komisc.ru, malrus@ib.komisc.ru, tabalenkova@ib.komisc.ru, dymovao@ib.komisc.ru, golovko@ib.komisc.ru
² LLC 'Prigorodny', Syktyvkar
E-mail: agriee@mail.ru
³ LLC Group of Companies 'Light and Electrical Technologies', Perm
http://ecoled.ru
E-mail: info@ecoled.ru

*The lettuce (*Lactuca sativa* L.) is widely known and favorite vegetable crop among people. In Europe the main production of lettuce is performed on protected ground with application of artificial light sources. The artificially-lighted culture of salad became very actually acquired in the north. Previously, on the basis of multi-year studies on yield registration and experiments with different regimes of lighting we have defined the appropriate parameters of supplementary lighting for lettuce with sodium high-pressure lamps that provided the production in different seasons per year. The aim was to study the accumulation of biomass and yield quality in lettuce 'Aphytsion' being grown in winter rotation under light-emitting diodes lamps. The accumulation of biomass and yield quality was studied in 'Aphytsion', grown in winter rotation under light-emitting diodes lamps ECOLED-BIO-112-185W-D120 UniversaLED (ООО 'GK' 'CET'), Perm, in industrial greenhouse ООО 'Prigorodny' at Syktyvkar city. The commodity output was obtained for two cycle of cultivation, November-December and December-January. Yield of foliage biomass was 2.4 kg/m² with flow density PAR (Photosynthetically active radiation) about 90 μmole quantum/m² s. at 20 W/m² with total light energy 54 MJ/m² supplied to plants from LED lamps. The plants produced about 0.5 g. of dry weight calculated on one mole of spent light energy. Energy efficiency of PAR was 3% that corresponded with data observed earlier with sodium high-pressure lamps. The conclusion was made about the suitability of this type of light-emitting diode lamps for lettuce cultivation in winter rotation in first photic zone. It was recommended to increase duration of supplemental lighting up to 22-24 hours in December and up to 20-22 hours in January to improve the productivity and biological value of plant output. It enables to raise RAP income in plants by 35 %, on average for one cycle of cultivation.*

Key words: lettuce, variety 'Aphytsion', yield capacity, winter rotation, light-emitting diodes lamps.

Введение

Круглогодичное обеспечение населения свежими овощами и зеленой продукцией является важной социально-экономической задачей. Её решение возможно путем развития современного агропромышленного производства на базе защищенного грунта. На мировом рынке доля всей тепличной продукции ежегодно увеличивается на 10%. В последнее время наблюдается также значительное ускорение темпов развития отечественного тепличного сектора. По данным Министерства сельского хозяйства РФ, площадь зимних теплиц в России к началу 2015 года достигла 2.9 тыс. га, а средняя урожайность валового производства овощей защищенного грунта составила 24 кг/м² [1].

Для повышения эффективности производства защищенного грунта, продуктивности и качества урожая особое значение имеют вопросы оптимизации светового режима овощных культур. Наиболее остро эта проблема стоит перед тепличными хозяйствами, расположенными в северных регионах РФ, где в осенне-зимний период приход естественной фотосинтетически активной радиации (ФАР) крайне мал [2]. Правильный выбор режима досвечивания с учетом биологических потребностей растений является ключевым элементом интенсификации технологии светокультуры, получения качественной растительной продукции, устранения дефицита производства полноценной экологически безопасной продукции. Вместе с тем, максимальное удовлетворение потребности растений в лучистой энергии, что способствует повышению урожайности, может привести к удорожанию продукции и потере рентабельности. В этом смысле актуальным остается известный афоризм знаменитого отечественного овощевода В.И. Эдельштейна (1881-1965): «Агротехника без биологии слепа, без механизации мертва, но все решает неумолимая экономика». Как известно, значительная доля затрат (30-40%) при производстве овощной продукции, особенно в зимнее время, приходится на оплату электроэнергии для обеспечения растений светом. Поэтому тепличные комплексы нуждаются в оснащении современными и экономичными системами досвечивания, без чего практически невозможно получение товарной продукции.

Еще недавно в производственных теплицах использовали преимущественно осветительные системы на базе натриевых и/или ртутных ламп с максимумами излучения в области 550-600 и 450 нм. Сегодня все больший интерес проявляется к внедрению систем, выполненных на основе светоизлучающих диодов, обладающих огромным потенциалом в качестве дополнительного или единственного источника освещения. Для выращивания салатно-зеленных культур предлагаются облучатели с комбинацией красных и синих светодиодов, причём доля излучения в красной части спектра (630-690 нм) составляет 65-95%, а в синей (430-470 нм) – остальные 5-35% [3, 4].

Использование в растениеводстве светоизлучающих диодов с высоким уровнем светоиспускания и разного спектрального состава выявило разнообразную и не всегда однозначную реакцию видов и сортов растений на узкополосное облучение. Светодиоды могут модулировать рост, развитие и морфогенез растений, влияют на структуру и активность фотосинтетического аппарата, общий метаболизм, накопление и состав биомассы [3-8].

Салат (*Lactuca sativa* L.) – широко распространенная и любимая населением овощная культура. В настоящее время различные виды салата культивируются на всех континентах. По данным FAOSTAT (<http://www.fao.org>), мировое производство салата в 2014 году составило 25 млн т, а посевы салата занимали свыше 1 млн га. Лидером по производству салата является Китай (54% от мирового объема производства), в США сосредоточено 16% мирового производства, а в Западной Европе – около 12%. В скандинавских странах значительное количество салатной продукции получают в защищенном грунте с применением источников искусственного освещения. Ранее на основе многолетних наблюдений, учета урожая и опытов с разными режимами освещения нами были определены оптимальные параметры досвечивания листового салата натриевыми лампами высокого давления (ДНаЗ), обеспечивающими получение товарной продукции в разные сезоны года на Севере [9].

Целью данной работы было исследовать возможность использования осветительной системы на основе светодиодных светильников для культивирования листового салата в зимнем обороте.

Методика

Опыты проводили в производственной теплице ООО «Пригородный» (г. Сыктывкар, 61°40'35" с.ш., 50°48'35" в.д.) в ноябре-январе 2016-2017 годов. Регион относится к первой световой зоне. Поступление ФАР в декабре составляет в среднем 110 кал/см², продолжительность светового дня не превышает 6 ч. Растения салата выращивали конвейерным способом на проточной линии в горшочках с известкованным торфом при температуре воздуха 18-22 °С и относительной влажности воздуха 55-60%. Содержание CO₂ в воздухе составляло около 550 ppm.

Светодиодные светильники «ЕКО-LED-BIO-112-185W-D120 UniversalLED» (ООО ГК СЭТ, г. Пермь) мощностью 185 Вт в количестве 20 штук были предоставлены производителем и установлены на высоте 1.5 м над столами для выращивания растений на площади 64 м². Лампы данного типа включают комплекс светоизлучательных диодов и характеризуются узкополосным спектром с выделенными пиками излучения при 445, 633, 668 и 739 нм. Величина соотношения интенсивности излучения в красной и синей области спектра равнялась 3.4. Это примерно вдвое больше, чем у используемых в хозяйстве натриевых ламп высокого давления типа ДНаЗ-600Вт/REFLUX. Светодиодные светильники включались автоматически в 5 ч утра, продолжительность досвечивания составляла 16 ч. Освещенность растений в разные часы суток определяли с помощью квантового датчика LI-190 SA и регистрирующей системы Data Logger Li-1400 (Licor Inc, США). В течение оборота контролировали рост и развитие растений, накопление биомассы. В конце оборота перед уборкой урожая отбирали образцы растений для определения химического состава биомассы.

Результаты исследований

Одним из решающих факторов, влияющих на урожай в условиях защищенного грунта, является световой режим. На практике уровень падающей ФАР для культивирования зеленных культур, в том числе и салата, составляет не менее 200-300 мкмоль/м²с, а величины около 70 мкмоль/м²с считаются низкоинтенсивным [2, 7]. Повышение интенсивности потока ФАР от источников освещения разного

типа увеличивает урожай салата до 5 кг/м² и более [4, 9, 10].

В нашем опыте интенсивность ФАР на уровне растений в декабре составляла 80-90 мкмоль квантов/м²с. Расположение светильников обеспечило равномерное распределение света над поверхностью ценоза. Об этом свидетельствует величина коэффициента вариации, которая не превышала 20%.

В декабре за оборот растения под светодиодными светильниками получали 240 моль квантов/м², что эквивалентно 54 МДж/м² световой энергии, что было достаточно для поддержания необходимых темпов роста и формирования урожая салата только в первой половине цикла выращивания, во второй половине оборота темпы роста растений были снижены. При этом черешки листьев были сильно вытянуты. Урожай растений салата составил 2.3 кг/м² (табл.).

В январе с увеличением инсоляции, в полуденные солнечные часы освещение могло достигать 120-130 мкмоль квантов/м²с ФАР, что привело к нормализации скорости роста и улучшению качества урожая салата. Сформированные

ценозы салата (рис.) имели листовой индекс около 6 м²/м². Такая площадь листьев способна перехватывать 90-95% падающего света. Листовые пластинки салата имели нормальную форму, плотность и размеры. Надземная масса свежеобранного салата в каждой поступающей в продажу упаковке (горшочек с тремя растениями) составила в среднем около 70 г. Доля корневой системы не превышала 5 % от надземной части. Урожай растений салата составил 2.4 кг/м² (табл.).

Качество и биологическую ценность произведенной салатной продукции оценивали по накоплению органических веществ и минеральных элементов. В сырых листьях салата преобладали растворимые сахара (275 мг/100 г сырой массы). В листе присутствовали вещества, обладающие антиоксидантными свойствами – полифенолы (24 мг/100 г), β-каротин, лютеин и зеаксантин (3 мг/100 г). Из минеральных элементов в значительных количествах накапливались калий (344 мг/100 г), кальций (47 мг/100 г), фосфор (34 мг/100 г). Весьма заметно накопление микроэлементов –

магния (14 мг/100 г) и марганца (0.7 мг/100 г). Расчеты показали, что порция салата весом 100 г обеспечивает до 30 % суточной потребности человека в каротиноидах, 5-10 % минеральных элементов и фенольных соединений [11].

Важной характеристикой овощной продукции является содержание в ней нитратов. Согласно нормативам [12] допускается содержание нитратов в количестве 4500 мг/кг в свежем салате латуке, культивируемом в защищенном грунте с 1 октября по 31 марта. Содержание нитратов в биомассе растений, выращенных под светодиодными светильниками, в декабре практически не превышала ПДК, а в январе составляла 360 мг/100 г сырой массы, что на 20% ниже ПДК.

Хотя эксперименты показали возможность получения товарной продукции салата в зимнее время при выращивании под светодиодными светильниками, урожайность салатной линии в обоих оборотах была в 1.5-2 раза ниже, получаемой в хозяйстве по стандартной технологии под натриевыми лампами высокого давления [9]. Основной причиной наблюдаемых различий явилось то, что интенсивность ФАР под лампами ДНаЗ была выше (не менее 150 моль квантов/м²). В результате растения получили за оборот на 40% больше ФАР (около 80 МДж/м²), чем при культивировании под светодиодными светильниками. О том, что растения под СД светильниками при заданном режиме досвечивания испытывали дефицит лучистой энергии, свидетельствует также сравнительно низкое содержание растворимых углеводов в их листьях. По нашим данным, содержание углеводов в сырой биомассе листьев растений, культивируемых под лампами ДНаЗ, достигало 750 мг/100 г [13], тогда как в опытах с использованием СД системы с низкоинтенсивным режимом освещения было почти втрое меньше. В то же время, использование разных источников освещения в зимнем обороте значимо не повлияло на накопление листьями салата β-каротина, лютеина, зеаксантина. Салатная продукция в условиях разного освещения практически не отличалась по накоплению минеральных элементов [13]. Количество фенольных соединений в листьях растений, освещаемых светодиодами, увеличивалось



Рис. Растения салата сорта Афицион, выращенные под светодиодными светильниками «COLED-BIO-112-185W-D120 UniversaLED» (31.01.2017 года).

Таблица. Показатели продуктивности салата сорта Афицион под светодиодными светильниками в зимний период

| Оборот | Сырая масса надземной части, г/упаковка | Сырая масса подземной части, г/упаковка | Урожайность (надземная часть), кг/м ² |
|------------------|---|---|--|
| Ноябрь - декабрь | 66 ± 3 | 3 ± 0.1 | 2.3 ± 0.1 |
| Декабрь - январь | 69 ± 5 | не определяли | 2.4 ± 0.2 |

на 30%. Сравнительный анализ динамики ростовых показателей растений в опытах с СД и ДНаЗ осветительной системами показал, что поступающей от СД светильников ФАР было достаточно для поддержания требуемых темпов роста и формирования урожая в первые три недели культивирования. Во второй половине оборота различия в нарастающей площади листовой поверхности и накоплении надземной массы между вариантами становятся статистически значимыми. Растения под светодиодными светильниками существенно замедляли темпы роста и накопления биомассы. Снижение урожайности салата в опыте со светодиодными светильниками составило около 40%, что примерно соответствовало количеству недополученной световой энергии. В практических руководствах по защищенному грунту утверждается, что повышение освещенности на 1% позволяет повысить урожайность культуры на 1%. Наши опыты и расчеты показали справедливость данного соотношения для производства салатной продукции в осенне-зимний период на Севере.

В процессе эксплуатации источников освещения в теплицах энергопотребле-

ние от 20 СД светильников «ECOLED-BIO-112-185W-D120 UniversalLED» на 1 м² в обороте составило 0.062 кВт/час. За 16 часов освещения лампами растений на площади 64 м² было израсходовано около 63 кВт электроэнергии на сумму 310 руб. Энергопотребление светильников с натриевыми лампами ДНаЗ-600Вт/REFLUX с электронным ЭПРА на 1 м² составило 0.118 кВт/час м² из расчета размещения 252 светильников на площади теплицы 1382 м². За 16 часов освещения растений на площади 64 м² было израсходовано около 120 кВт электроэнергии на сумму 590 руб. В расчете на единицу площади освещаемой поверхности энергопотребление ламп ДНаЗ-600 было в два раза выше, чем у светодиодных светильников «ECOLED-BIO-112-185W-D120 UniversalLED».

Итак, результаты опытов показали возможность получения продукции салатной линии в первой световой зоне РФ в ноябре-январе при использовании в качестве светильников светодиодных ламп «ECOLED-BIO-112-185W-D120 UniversalLED». Для получения урожая приемлемого количества и качества необходимо, чтобы приход ФАР к растениям за

оборот был не ниже 80 МДж/м². Это можно обеспечить за счет увеличения продолжительности досвечивания в течение суток вплоть до круглосуточного. Энергозатраты при 24 часовом режиме досветки светодиодными СД составят 7.3 руб/м², что на 20% ниже по сравнению с 16-часовым освещением натриевыми лампами. Повысить интенсивность падающей ФАР до 150 моль квантов/м² можно за счет увеличения плотности установки светильников и уменьшения высоты их подвеса. Такого же результата позволит добиться сочетание обоих вариантов – увеличение продолжительности досвечивания растений до 20 ч в сутки и подвес светильников на высоте около 1 м над ценозом. Расчеты показывают, что при дифференцированном учете электроэнергии в течение суток с более низким тарифом в ночной период увеличение продолжительности досвечивания наиболее рентабельно.

Работа выполнена в рамках НИР «Оценка продуктивности и качества листового салата (*Lactuca sativa* L.), выращенного с использованием светодиодных светильников «ECOLED-BIO-112-185W-D120 UNIVERSALED» (ООО «ГК «СЭТ», г. Пермь)» (2016 г.).

Литература

1. Скопинцева Е. Минсельхоз пообещал построить 1500 га теплиц // Экономика и жизнь. – 2016. – №22 (9638) (<https://www.eg-online.ru/article/316766>) Проверено 08.06.2017).
2. Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы. – 2000. – 213 с.
3. Полякова М.Н., Мартиросян Ю.Ц., Диловарова Т.А., Кособрухов А.А. Фотосинтез и продуктивность у растений базилика (*Ocimum basilicum* L.) при облучении различными источниками света // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50. – № 1. – С. 124-130.
4. Емелин А.А., Прикупец Л.Б., Тараканов И.Г. Спектральный аспект при использовании облучателей со светодиодами для выращивания салатных растений в условиях светокультуры // Светотехника. – 2015. – № 4. – С. 47-52.
5. Аверчева О.В., Бассарская Е.М., Жигалова Т.В., Беркович Ю.А., Смолянина С.О., Леонтьева М.Р., Ерохин А.Н. Фотохимическая и фосфорилирующая активность хлоропластов и мезоструктура листьев китайской капусты при выращивании под светодиодами // Физиология растений. – 2010. – Т. 57. С. – 404-414.
6. Amoozgar A., Mohammadi A., Sabzalian M.R. Impact of light-emitting diode irradiation on photosynthesis, phytochemical composition and mineral element content of lettuce cv. Grizzly // Photosynthetica. – 2017. – V. 55. – № 1. – P. 85-95.
7. Muneer S., Kim E.J., Park J.S., Lee J.H. Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex pro-

- teins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.) // International Journal of Molecular Sciences. – 2014. – V. 15. – № 3. – P. 4657-4670.
8. Olle M., Virgile A. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality // Agricultural and Food Science. – 2013. – V. 22. – № 2. – P. 223-234.
9. Далькэ И.В., Буткин А.В., Табаленкова Г.Н., Малышев Р.В., Григорай Е.Е., Головки Т.К. Эффективность использования световой энергии и продуктивность тепличной культуры листового салата // Известия ТСХА. – 2013. – № 5. – С. 60-68.
10. Аникина Л.М., Конончук П.Ю., Судаков В.Л., Удалова О.Р., Хомяков Ю.В. Экономическая эффективность использования в технологиях малообъемной интенсивной светокультуры питательных растворов на основе промышленно выпускаемых удобрений // Овощи России. – 2016. – № 4 (33). – С. 10-14.
11. МР 2.3.1.2432—08 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. – 2008.
12. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). Глава II Раздел 1. Плодоовощная продукция (Содержание нитратов в свежем салате латуке, выращенном в защищенном грунте с 1 октября по 31 марта) / Утверждены Решением Комиссии таможенного союза от 28 мая 2010 года № 299.
13. Головки Т.К., Табаленкова Г.Н., Далькэ И.В., Захожий И.Г., Григорай Е.Е., Буткин А.В. Продукционный процесс и пищевая ценность зеленных культур защищенного грунта на севере // Гавриш. – 2010. – № 5. – С. 32-35.