

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ
МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И ПРОДУКЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК САЛАТА ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ СПЕКТРА
И ИНТЕНСИВНОСТИ ЛУЧИСТОГО ПОТОКА
СВЕТОДИОДНЫХ ОБЛУЧАТЕЛЕЙ**

Тихомиров Александр Аполлинарьевич

д.б.н., проф., главный научный сотрудник

Величко Владимир Владимирович

к.б.н., старший научный сотрудник

Шихов Валентин Николаевич

к.б.н., научный сотрудник

Ушакова Софья Аврумовна

к.б.н., ведущий научный сотрудник

Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН

Аннотация: Экспериментально рассмотрены возможности регулирования продукционных и морфологических характеристик растений салата (сорт Афицион) за счет варьирования интенсивности и спектрального состава излучения светодиодных облучателей. Исследования проводили при облученностях 100; 200; 300; 400 мкмоль/м². Установлено, что при облученности 200 мкмоль/м² обеспечивается наиболее благоприятно сочетание морфофизиологических и органолептических характеристик листьев салата. Показано, что при облучённости 200 мкмоль/м²с ФАР, усилении доли излучения красных лучей в лучистом потоке и уменьшении соотношения фитохромных потоков F_{660}/F_{730} до 1,12 удастся добиться контрольных значений высоты и продуктивности растений.

Ключевые слова: Светодиодные облучатели, облученность, спектральный состав излучения, фитохромные потоки, высота растений, продуктивность.

**EVALUATION OF THE POSSIBILITIES OF CHANGING
THE MORPHOPHYSIOLOGICAL AND PRODUCTION
CHARACTERISTICS OF LETTUCE DUE TO CHANGES
IN THE SPECTRUM AND INTENSITY OF THE RADIANT FLUX
OF LED IRRADIATORS**

**Tikhomirov Alexander Apollinariyevich
Velichko Vladimir Vladimirovich
Shikhov Valentin Nikolaevich
Ushakova Sofya Avrumovna**

Abstract: The possibilities of regulating the production and morphological characteristics of lettuce plants (the Aficon variety) by varying the intensity and spectral composition of radiation from LED irradiators are experimentally considered. The studies were carried out at irradiances of 100; 200; 300; 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. It was found that at an irradiance of 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, the most favorable combination of morphophysiological and organoleptic characteristics of lettuce leaves is provided. It is shown that with irradiance of 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, an increase in the proportion of red rays in the radiant flux and a decrease in the ratio of phytochromic fluxes of F_{660}/F_{730} to 1.12, it is possible to achieve control values of height and productivity of plants.

Key words: LED irradiators, irradiance, and spectral composition of radiation, phytochromic fluxes, plant height, and productivity.

Введение

В настоящее время идет интенсивный процесс распространения светодиодного освещения в тепличных хозяйствах, как в России, так и за рубежом [1, с.8]. Кроме требований в повышении продуктивности и качества урожая растений все чаще торговые сети выдвигают требования к калибровке растений, что обусловлено, в частности, размерами используемой упаковки. Так, в частности, к салатной продукции нередко выдвигаются требования к стандартизации веса и высоты растений [2, с. 10]. Получение таких показателей может быть достигнуто различными способами (температура, фотопериод, минеральное питание и т.д.). Однако весьма перспективным, на наш взгляд,

представляется использование светового фактора. Такой подход особенно перспективен в связи с широким внедрением светодиодного освещения растений в теплицах. Использование светодиодов открывает широкие перспективы для использования самого разнообразного спектрального состава излучения. Известно, что видимое и ближнее инфракрасное излучение светодиодных облучателей может оказывать значительное влияние на морфогенез и продуктивность растений [3, с.136]. В частности, направленные физиологически обоснованные изменения спектральных потоков излучения в видимой и инфракрасной областях спектра могут являться действенными факторами в формировании растений с заданной высотой и биомассой в определенный период вегетации.

В связи с этим, целью данной работы является оценить возможности получения запланированных параметров растений (на примере салата) к периоду их уборки за счет подбора параметров лучистого потока в видимой и инфракрасной областях спектра светодиодных облучателей.

Методика

Объектом исследования являлись растения салата сорта Афицион – одного из наиболее распространенных сортов салата, выращиваемых в теплицах России. Для возможностей последующего использования результатов исследований в тепличных технологиях, условия выращивания растений салата были взяты с учетом современных рекомендаций для тепличных технологий. Поставленная цель достигалась варьированием спектральных и энергетических характеристик светодиодных облучателей.

Полив растений осуществлялся раствором Кнопа с полным набором необходимых микро- и макроэлементов по автоматически заданной программе. Температура воздуха днем 20-22°C, ночью – 16-18°C. Концентрацию CO₂ в период освещения поддерживали 600-800 ppm. Для имитации подсветки естественным светом в теплице в зимний период для средней географической полосы (декабрь-январь) использовали люминесцентные лампы ЛБ-40 с интенсивностью света около 1,5 ккл. В качестве исследуемых светодиодных облучателей искусственного света использовали экспериментальные светодиодные облучатели, изготовленные фирмой Атомсвет (Россия) по специальному заказу. Спектры излучения светодиодных облучателей во всех экспериментах измеряли с помощью спектрометра марки AvaSpec2048- USB-2

(Нидерланды). Спектральный состав излучения используемых облучателей представлен на рис. 1.

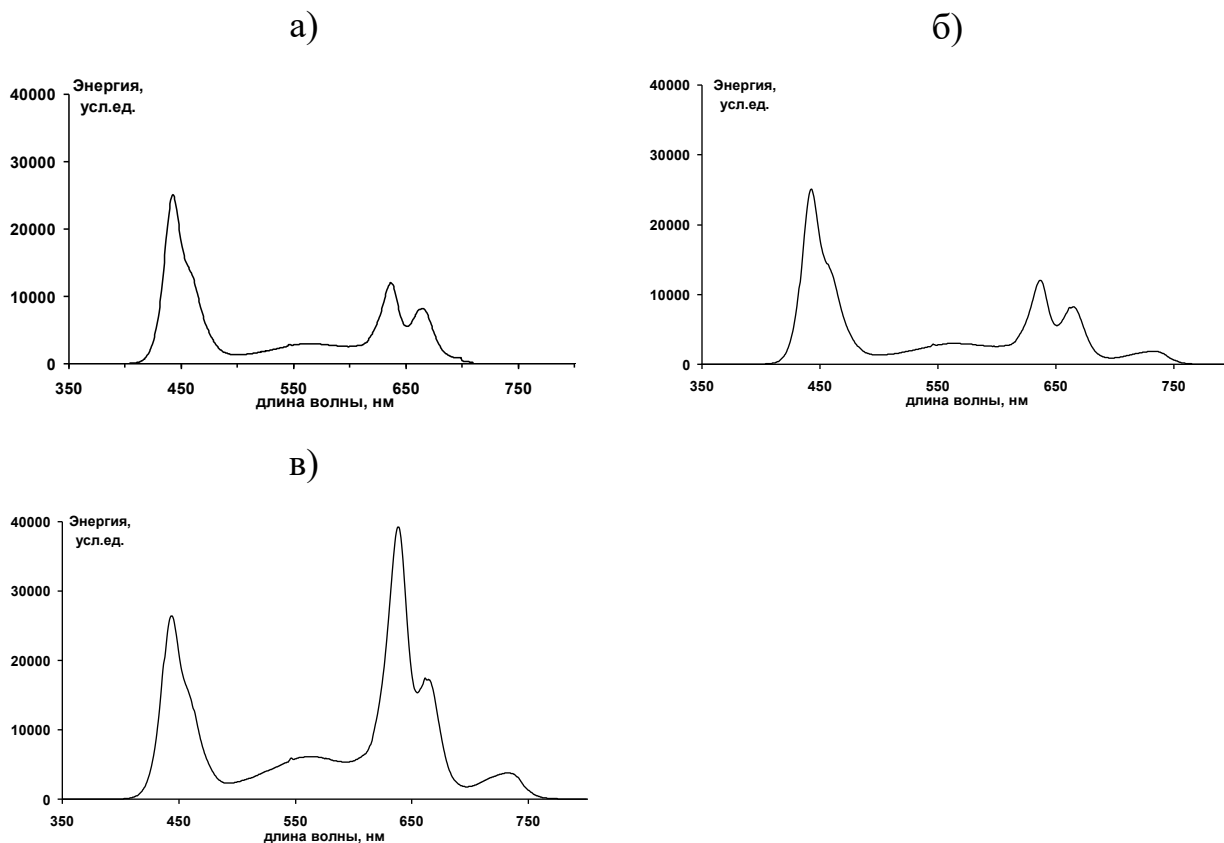


Рис. 1. Спектры излучения экспериментальных светодиодных облучателей, используемых в экспериментах: а) базовый облучатель, б) модифицированный облучатель, в) модифицированный облучатель с повышенной долей облучения в красной области спектра, Пояснения в тексте

Контрольные значения для достижения заданных параметров для салата составляли: высота растений – 21-22 см, срок вегетации после высадки в поддоны – 21 сутки, сырая биомасса растений на 21 сутки – не менее 110 г/ Выращивание растений проводили в полностью герметичном терморегулируемом объеме из нержавеющей стали.

Система подачи CO₂ предусматривала подачу газа внутрь помещения из газового баллона, и его концентрация автоматически контролировалась с помощью специальной установки, оборудованной газометрическим

оборудованием (газоанализатор LICOR-820) и регистрировавшей концентрацию CO_2 внутри герметичного объема, где выращивали растения.

Спектры излучения светодиодов во всех экспериментах измеряли с помощью спектрометра марки AvaSpec2048- USB-2 (Нидерланды).

В первой серии экспериментов выращивание растений выполняли при использовании базовых светодиодных облучателей, не имеющих излучения в ближней инфракрасной области спектра (БИКР). Во второй серии экспериментов дополнительно использовали модифицированные по спектру облучатели с излучением в области БИКР.

Для выбора уровня облученности светодиодных облучателей была выполнена серия экспериментов по выращиванию растений салата сорта «Афицион» при различном уровне облученности 100; 200; 300 и 400 $\text{мкмол/м}^2\text{с}$. Работа была выполнена на базовом (исходном) типе светодиодного облучателя (рис.1). Исследования показали, что, хотя с ростом облученности наблюдался прирост биомассы растений, однако сами листья с ростом уровня облученности становились более толстыми и грубыми и теряли привлекательные органолептические свойства (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид листовой поверхности салата «Афицион», выращиваемых при различных уровнях облученности (слева направо): верхний ряд - 100; 200 $\text{мкмол/м}^2\text{с}$; нижний ряд - 300; 400 $\text{мкмол/м}^2\text{с}$

Наиболее приемлемой с точки зрения сочетания органолептических и продукционных характеристик оказались растения, выращиваемые при облученности 200 мкмоль/м²с. Поэтому все дальнейшие исследования в данной работе выполняли при этом уровне облученности ФАР. Чтобы выявить наиболее высокие продукционные показатели у растений при облученности 200 мкмоль/м²с и достичь заданных значений высоты растений, у светодиодных облучателей модифицировали спектральный состав излучения в области фотосинтетически активной радиации (ФАР) – 400-700 нм и в области ближней инфракрасной радиации (БИКР) – 700-750 нм. Для увеличения фотобиологической эффективности излучения светодиодных облучателей в видимой области спектра была предпринята попытка «усилить» длинноволное излучение за счет перераспределения части энергии излучения из синей в красную область спектра. Была также увеличена доля излучения в области БИКР с целью изменения соотношения фитохромных потоков F_{660}/F_{730} .

Результаты и обсуждение

Результаты проведенных исследований представлены в табл.

Таблица

**Характеристики растений салата сорта Афицион, выращенного
под излучением светодиодных облучателей с различным спектральным
составом при облученности 200 мкмоль/м²с**

Источник света	F_{660}/F_{730} , отн. ед.	Высота растения, см	Сырая надземная биомасса, г
Базовый облучатель	2,27	18,0 ± 0,4	127,6 ± 2
Модифицированный облучатель 1	1,15	19,7 ± 2,0	136,2 ± 8,7
Модифицированный облучатель 2	1,12	21,8 ± 0,3	175,9 ± 10,4

Примечание: Характеристики источников света даны в тексте статьи.

Анализ таблицы показал, что по сравнению с базовым облучателем, продуктивность растений под излучением с модифицированным облучателем, где добавлена БИКР, была выше. Кроме того, увеличилась длина растений. В целях дальнейшего усиления фотобиологической эффективности излучения у данного светодиодного облучателя была усилена доля излучения в красной области спектра, а доля синих лучей уменьшена (рис.1в). У такого

светодиодного облучателя зарегистрированы наиболее высокие значения продуктивности растительной биомассы и высоты растений. Поэтому можно констатировать, что подобранное сочетание спектральных областей в данном варианте облучателя позволяет добиться запланированных значений высоты растения и увеличить его массу.

Таким образом, за счет усиления доли спектрального состава излучения светодиодного облучателя в красной и ближней инфракрасной областях спектра удалось увеличить как продуктивность, так и высоту растений салата и привести их в область заданных стандартизированных показателей для торговой сети.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 0287-2021-0024).

Список литературы

1. Прикупец Л.Б. Светодиоды в тепличном освещении: возможности и реальность. – Светотехника. – 2019. – Специальный выпуск. – С. 8-12.
2. <https://gavrishprof.ru/info/publications/vsyo-o-vyrashchivanii-salata>
3. Celina Gymež, Luigi Gennaro Izzo. Increasing efficiency of crop production with LEDs. – AIMS Agriculture and Food. – 2018. – Volume 3, Issue 2. – P. 135–153.