

УДК 628.941.8:581.14

ПРИМЕНЕНИЕ КРАСНЫХ И СИНИХ СВЕТОДИОДОВ В СВЕТОКУЛЬТУРЕ САЛАТА

Ракутько С.А., Маркова А.Е., Мишанов А.П., Ракутько Е.Н.

ФГБНУ «Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства» (ИАЭП), Санкт-Петербург, e-mail: sergej1964@yandex.ru

Выращивали салат (*Lactuca sativa* L.) сорта Афицион по гидропонной технологии. Уровень облученности составлял $140 \text{ мкмоль} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$, 16 часов в сутки. Соотношение потоков в красном и синем диапазонах ФАР составляло $k_R:k_B = 1:1,8$ (спектр S1) и $k_R:k_B = 1:0,7$ (спектр S2). Результаты эксперимента показали, что при спектре S2 (по сравнению с S1) наблюдается увеличение продуктивности растений на 24%. Выход сухого вещества повысился на 18%, содержание органического вещества в сухом веществе – на 27%. Наблюдалось снижение содержания нитратного азота в зеленой массе салата на 43%. Повысились коэффициенты использования растениями салата азота, фосфора и калия. Водопотребление у салата снизилось на 15%, обеспечив экономию воды $3,19 \text{ л} \cdot \text{м}^{-2}$.

Ключевые слова: светочультура, салат, гидропоника, спектр, светодиоды, минеральное питание, продуктивность

APPLICATION OF RED AND BLUE LEDS IN LETTUCE INDOOR PLANT CULTIVATION

Rakutko S.A., Markova A.E., Mishanov A.P., Rakutko E.N.

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP), St. Petersburg, e-mail: sergej1964@yandex.ru

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties Afitsion was growing on hydroponic technology. The level of irradiation was $140 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, 16 hours a day. The ratios of fluxes in the red and blue bands of FAR were $k_R:k_B = 1:1,8$ (S1) and $k_R:k_B = 1:0,7$ (S2). The experimental results that under spectrum S2 (compared to S1) the productivity of plants was increased by 24%. The dry substance yield increased by 18%, the content of organic matter in dry matter – by 27%. The nitrate nitrogen content in the wet mass of lettuce was decreased by 43%. The levels of utilization of nitrogen, phosphorus and potassium were increased. Water consumption at the lettuce decreased by 15%, providing water saving $3,19 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2}$.

Keywords: indoor plant cultivation, lettuce, hydroponics, light quality, LED, mineral nutrition, productivity

Оптическое излучение (ОИ) является важным фактором роста и развития растений. Применение ОИ для выращивания растений при искусственном облучении (в светочультуре) допускает широкие возможности варьирования его параметрами: интенсивностью, продолжительностью, спектральным составом, что оказывает специфическое воздействие на фоторецепторы [9]. У растений под влиянием энергии ОИ наблюдается целый ряд физических эффектов, ведущих к регуляторным, адаптивным и другим процессам, вплоть до экспрессии генов. Единичные кванты ОИ, поглощаемые растительным организмом, запускают превращения морфобиологического состояния растений [1]. Развитие аграрных теоретических знаний и практики производства продукции выявили необходимость создания энергоэффективных агротехнологий с минимальным негативным воздействием на окружающую среду, в основу которых должны быть положены наиболее важные достижения фундаментальных наук. Для светочультуры характерны существенные энергетические затраты,

поэтому вопросы экологичности и энергоэффективности приобретают особую актуальность [4].

Традиционными источниками излучения (ИИ) для применения в светочультуре являются натриевые и люминесцентные лампы с различным спектром излучения, однако эти источники имеют недостатки – малый срок службы, высокую энергоемкость, недостаточную оптимальность распределения интенсивности излучения по длинам волн в диапазоне фотосинтетически активной радиации (ФАР) в диапазоне 400 – 700 нм. Альтернативным типом ИИ являются светодиоды. Для интенсификации промышленной светочультуры необходимы научное обоснование и разработка новых энергоэкономичных ИИ.

В качестве модельной культуры в данном исследовании выбран салат (*Lactuca sativa* L.) благодаря его быстрому росту и чувствительности к спектру ОИ. В хозяйственном плане салат пользуется большим спросом, особенно в зимний период. Это конкурентоспособная продукция, не требующая особых затрат, за исключением

электроэнергии при выращивании с досвечиванием [7].

К настоящему времени накоплен большой эмпирический материал по выращиванию салата под ИИ с различным спектральным составом. Исследованиями ряда авторов установлено, что большая часть фотобиологических процессов в растениях наиболее активно проходит в синей и красной областях спектра. В зависимости от спектра излучения были обнаружены положительные физиологические, морфологические эффекты, выявлено повышенное содержание питательных веществ. Определены рекомендуемые сочетания энергии в различных диапазонах спектра [8]. Наблюдалась более высокая сухая масса у салата, выращенного под красным светом с добавлением синего, по сравнению с салатом, выращенным только под красным светом [10].

Важной мерой оценки пригодности света для светокультуры является величина потока ФАР. Для интенсивного фотосинтеза у растений необходимым является не только обеспечение общего количества энергии ОИ, но и соответствующего спектрального состава излучения. Для экономически обоснованного применения ИИ в светокультуре важной является и оценка их энергетической эффективности [2, 3, 5].

Цель исследований заключается в сравнительной оценке влияния соотношения потоков в красном и синем диапазонах ФАР на рост, развитие и качество салата.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования по выращиванию салата под излучателями на гидропонике проводили в условиях без доступа солнечного света. Салат – достаточного распространенная зеленная культура, обладающая ценными свойствами, содержит провитамин А-каротин, витамины С, В, Р, РР, К, Е и микроэлементы В, J, Zn, Mn, Cu и др. В салате содержится до 4,0% сахаров, углеводов, минеральные соли составляют 7 – 19% от сухого вещества. В России самым распространенным считаются листовые салаты сорготипа Батавия. Салат Афицион самый популярный светло-зеленый сорт [6].

Для выращивания салата методом гидропоники в качестве субстрата использовали верховой торф низкой степени разложения (10%), кислый (рН 3,8), зольностью 10%. Торф предварительно известковали агромером с доведением кислотности до рН 6,2 и минерального состава до содержания, мг/л: азота – 230; фосфора – 50; калия – 250; кальция – 200; магния – 60. Питательный раствор для гидропонного выращивания салата в замкнутом цикле готовили из минеральных солей, используемых в промышленном тепличном овощеводстве с доведением содержания элементов питания в рабочем растворе, мг/л: азота – 162,5; фосфора – 28,8; калия – 231,2; кальция – 107,9; магния – 26,5 и необходимого количества микроэлементов.

Растения салата выращивали в пластиковых горшочках типа PR – 306 диаметром и высотой 5 см. Семена высевали в горшочки по 3 – 4 штуки (предварительно семена обрабатывали этином). Выдерживали горшочки с семенами в темновом шкафу при температуре 22 °С и относительной влажности воздуха 93 – 95% в течение 1,5 суток. Проросшие семена переносили под светильник с люминесцентными лампами с соотношением потоков в спектре $k_B:k_G:k_R = 26\%:38\%:36\%$ (синего В – blue; зеленого G – green; красного R – red). Доля потока ближней инфракрасной зоны составляло 11,8%.

В течение 14 дней рассаду салата выдерживали на рассадном столе при облученности 120 мкмоль $c^{-1}m^{-2}$ при круглосуточном досвечивании. На 15-й день после всходов горшочки с 2-я настоящими листочками переносили в рабочую зону и устанавливали в культивационные желоба под облучатели с различным спектром. Уровень облученности в течение периода выращивания поддерживали на уровне 140 мкмоль $c^{-1}m^{-2}$, за счет изменения высоты подвеса. Облучение проводили по 16 часов в сутки. Питательный раствор подавали автоматически в замкнутом цикле на лотки, на каждый стол отдельно. Электропроводность (ЕС) и уровень рН питательного раствора корректировали ежедневно и поддерживали на уровне 1,8 – 2,0 мсм cm^{-1} и 5,9 – 6,1 ед. соответственно.

Облучение растений салата в рабочей зоне осуществлялось двумя комбинированными облучателями с различными спектрами:

1) S1 – спектр, получаемый от излучения восьми люминесцентных ламп OSRAM L 58W/77 FLUORA (G13) и светодиодов синего цвета. Соотношение потоков в поддиапазонах ФАР $k_B:k_G:k_R = 51\%:21\%:28\%$, с наибольшей долей энергии в синем поддиапазоне с соотношением $k_R:k_B = 1:1,8$.

2) S2 – спектр, получаемый от излучения восьми люминесцентных ламп OSRAM L 58W/77 FLUORA (G13) и светодиодов красного цвета. Соотношение потоков $k_B:k_G:k_R = 32\%:22\%:46\%$, с наибольшей долей энергии в красном поддиапазоне с соотношением $k_R:k_B = 1:0,7$.

Использовали СД марки ARPL – Star, смонтированные на алюминиевом радиаторе. Питание светодиодов осуществлялось от блока питания ARS-480M-12, управляемых с помощью регулятора мощности MP301F.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 показана динамика биометрических показателей растений салата: массы листьев, их количества и высоты растения.

Результаты сравнительного анализа влияния излучения на растения салата показали, что при спектре S2 наблюдались большие значения высоты растения салата, массы листьев и их количества. Продуктивность салата по массе листьев при спектре S2 была выше и составила $43,61 \pm 0,41$ г/горшочек по сравнению с $35,39 \pm 2,26$ г/горшочек при спектре S1.

В табл. 2 показаны показатели продуктивности и химический состав листьев салата на конец эксперимента.

Таблица 1

Динамика биометрических показателей растений салата

Спектр	13.08.2015			19.08.2015			25.08.2015		
	Среднее значение	Коэф. вар., %	Ошибка среднего, %	Среднее значение	Коэф. вар., %	Ошибка среднего, %	Среднее значение	Коэф. вар., %	Ошибка среднего, %
Масса листьев, г									
S1	4,91 ± 0,13	2,70	1,02	24,2 ± 1,17	4,84	2,16	35,39 ± 2,26	6,40	2,86
S2	5,29 ± 0,08	1,57	0,69	26,03 ± 0,53	4,57	2,04	43,61 ± 0,41	2,10	0,94
Количество листьев, шт на горшечек									
S1	14,57 ± 0,53	3,67	1,39	21,40 ± 1,14	5,33	2,38	27,60 ± 1,34	4,86	2,17
S2	14,86 ± 0,90	6,06	2,29	23,0 ± 1,00	4,35	1,94	28,80 ± 0,37	2,88	1,28
Высота растения, см									
S1	12,07 ± 0,73	6,04	2,28	14,98 ± 1,03	6,86	3,07	17,44 ± 0,70	4,03	1,80
S2	11,70 ± 0,91	7,76	2,93	15,34 ± 1,52	9,89	4,42	17,66 ± 0,15	1,93	0,86

Таблица 2

Химический состав листьев салата

Спектр	Урожайность, кгм ⁻²	Выход сух. в-ва, г.м ⁻²	Доля золы в сырой массе, %	Нитратный азот, мгкг ⁻¹	Орг. в-во в сух. в-ве, г.м ⁻²
S1	0,88	56,60	1,14	2982,9	46,45
S2	1,09	69,66	1,02	1725,5	58,5

Таблица 3

Коэффициенты использования азота, фосфора и калия из питательного раствора гидропонной культуры салата

Спектр	N, г.м ⁻²			P, г.м ⁻²			K, г.м ⁻²		
	Подано растениям	Вынесено с урожаем	Коэф. использ., %	Подано растениям	Вынесено с урожаем	Коэф. использ., %	Подано растениям	Вынесено с урожаем	Коэф. использ., %
S1	7,78	1,55	19,92	1,87	0,23	12,29	10,65	1,31	12,30
S2	8,26	1,90	23,00	1,84	0,28	15,20	10,65	1,62	15,20

Выход сухого вещества составил 69,66 г.м⁻², содержание органического вещества в сухом веществе составило 58,5 г.м⁻² по отношению к 56,6 г.м⁻² и 46,45 г.м⁻² под спектром S1 (соответственно), что характеризуется усилением фотосинтетической деятельности у растений. Отмечали существенное снижение содержания нитратного азота в зеленой массе салата до 1725,5 мгкг⁻¹ под спектром S2 по сравнению с 2982,9 мгкг⁻¹ под спектром S1, что обусловлено усилением процессов синтеза белков в зеленой массе. Отметим, что по нормативам ПДК по содержанию нитратов в салате, выращенного в укрытии с октября по март может достигать уровня 4000 мгкг⁻¹.

В табл. 3 показаны коэффициенты использования азота, фосфора и калия из питательного раствора гидропонной культуры салата.

Исследование питательных растворов в динамике в процессе их рециркуляции на салатной линии показали, что коэффициенты использования азота, фосфора и калия растениями салата под спектрами S1 и S2 оставались низкими на конец опыта и составили 19,92; 12,29; 12,30 и 23,00; 15,20 и 15,20% соответственно, что характерно для водной гидропонной культуры.

В табл. 4 показаны показатели водопотребления салата на гидропонной установке.

Коэффициенты водопотребления салата

Спектр	Подано питательного р-ра, лм ²	Потребление питат. р-ра растениями, л		Урожайность, кгм ²	Коэф. водо-потребления, лм ²	Экономия воды, лм ²
		на 1 раст.	на 1 м ²			
S1	45,9	0,78	19,60	0,88	22,27	–
S2	45,9	0,83	20,8	1,09	19,08	3,19

Водопотребление у салата под спектром S2 существенно снижено и составило 19,08 лм² по сравнению с 22,27 лм² под спектром S1. Экономия воды составила 3,19 лм².

Заключение

Результаты эксперимента показали, что увеличение в потоке доли красного излучения (с соотношения $k_R:k_B = 1:1,8$ до $k_R:k_B = 1:0,7$ привело к существенному увеличению массы листьев на 24% при увеличении высоты растений салата на 1% и их количества на 4%. Благодаря усилению фотосинтетической деятельности выход сухого вещества на конец опыта повысился на 18%, содержание органического вещества в сухом веществе – на 27%. Наблюдалось существенное снижение содержания нитратного азота в зеленой массе салата на 43%, обусловленное усилением процессов синтеза белков в зеленой массе. Повысились коэффициенты использования растениями салата азота, фосфора и калия на величину около 3%, оставаясь при этом низкими, что характерно для водной гидропонной культуры. Водопотребление у салата снизилось на 15%, обеспечив экономию воды 3,19 лм².

Список литературы

1. Будаговский А.В., Соловых Н.В., Будаговская О.Н., Будаговский И.А. Реакция растительных организмов на

воздействие квазимонохроматического света с различными длительностью, интенсивностью и длиной волны // Квантовая электроника. – 2015. – т. 45, № 4. – С. 345–350.

2. Ракутько Е.Н., Ракутько С.А. Сравнительная оценка эффективности источников излучения по энергоёмкости фотосинтеза // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 2(12). – С. 50–54.

3. Ракутько С.А. Оценка эффективности энергосберегающих мероприятий в электротехнологиях оптического облучения // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 11. – С. 31–33.

4. Ракутько С.А. Спектральные отклонения и энергоёмкость процесса облучения растений // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2008. – № 10. – С. 156–160.

5. Ракутько С.А., Судаченко В.Н., Маркова А.Е. Оценка эффективности применения оптического излучения в световой культуре по величине энергоёмкости // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. 33. – С. 270–278.

6. Салат – самая выгодная овощная культура. Аналитический обзор об агротехнике, развитии отрасли и рыночных перспективах культуры. <http://www.agroxxi.ru/> 3.04.2012.

7. Dougher T.A.O., Bugbee B. Differences in the response of wheat, soybean and lettuce to reduced blue radiation // Photochem. Photobiol. – 2001. – № 73. – P. 199–207.

8. Kim H.H., Goins G.D., Wheeler R.M., Sager J.C. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes // HortSci. – 2004. – № 39. – P. 1617–1622.

9. Liu W. Light Environmental Management for Artificial Protected Horticulture // Agrotechnology. – 2012. – № 1. – P. 1–4.

10. Yorio N.C., Goins G.D., Kagie H.R. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation // HortSci. – 2001. – № 36. – P. 380–383.