

УДК 628.941.8:581.14

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧИЙ В КАЧЕСТВЕ РАССАДЫ ТОМАТА, ВЫРАЩЕННОЙ ПОД ИЗЛУЧЕНИЕМ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП И СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

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

Отмечена важность спектрального состава излучения при выращивании растений в светокультуре. Рассмотрен способ задания спектра излучения через соотношение долей энергии в синем, зеленом и красном поддиапазонах фотосинтетически активной радиации. Изложены результаты выращивания рассады томата под излучением люминесцентных ламп (ЛЛ) и светодиодных источников (СД), имеющих одинаковые (и практически равные для этих источников) доли энергии в отмеченных поддиапазонах. Выявлено, что рассада томата, выращенная под ЛЛ характеризуется большей сырой массой, превышающее этот же показатель у растений под СД на 21,6%, однако образуемое в растениях сухое вещество под СД на 19,7% выше, чем при использовании ЛЛ. При использовании СД снижение удельного потребления электроэнергии составляет 13,1%. Это открывает возможность применения светодиодов для промышленного получения рассады томата.

Ключевые слова: светокультура, источники излучения, спектр, фотосинтетически активная радиация, томат, рассада, эффективность

STUDY OF QUALITY DIFFERENCE OF TOMATO TRANSPLANTS GROWN UNDER FLUORESCENT LAMPS AND LED LIGHT SOURCES

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

The importance of light quality for indoor plant growing is highlighted. The way of setting the light quality with the ratio of energy in blue, green and red sub-bands of photosynthetically active radiation is considered. The results of tomato transplants cultivation under fluorescent lamps (FL) and light emitting diodes (LED) with the same (and almost equal to these sources) share of energy in the selected sub-bands are presented. It was revealed that tomato transplants grown under FL had 21,6% bigger wet mass compared to the transplants grown under LED. However, the plant dry matter was 19,7% bigger under LED than under FL. LED application featured 13,1% lower specific energy consumption. This fact opens possibilities for LEDs use in industrial-scale growing of tomato transplants.

Keywords: indoor plant lighting, radiation sources, light quality, photosynthetically active radiation, tomato, transplant, efficiency

Важнейшей задачей в АПК является обеспечение энергосбережения в применяемых технологических процессах. Одними из наиболее энергоемких являются процессы, связанные с использованием энергии оптического излучения. Примером таких процессов является светокультура, то есть выращивание растений полностью при искусственном облучении. Энергия потока оптического излучения в области фотосинтетически активной радиации (ФАР) с длиной волны от 400 до 700 нм является основой обеспечения процессов фотосинтеза и получения полезной продукции в светокультуре [3].

В светокультуре одним из энергосберегающих мероприятий является регулирование светового режима, в том числе путем аргументированного выбора источников излучения и/или регулирования спектра излучения выбранных источников в диапазоне ФАР. Экономические показатели светокультуры непосредственно зависят

от соответствия спектрального состава излучения требуемым значениям [4]. Следует отметить, что эффект от спектрального состава облучателя будет различным при использовании его для досвечивания как дополнительного к естественному освещению, либо в светокультуре, без солнечного света. Так, спектр широко применяемых для облучения растений натриевых лампы при их использовании в закрытых помещениях без доступа солнечного света вызывает вытягивание рассады [5]. Достаточно признанным в метрологии светокультуры является подход, основанный на выделении трех спектральных поддиапазонов ФАР: синего (B – blue) 400...500 нм, зеленого (G – green) 500...600 нм и красного (R – red) 600...700 нм [2]. К настоящему времени накоплено множество экспериментальных данных по выращиванию растений под излучением, задаваемом соотношениями энергии в поддиапазонах ФАР $k_B:k_G:k_R$ [6]. Выявлено, что отдельные виды и сорта для

достижения максимальных показателей роста требуют различного спектрального состава излучения [7]. Современные источники света (ИС) позволяют задать практически любой спектральный состав потока. В газоразрядных лампах этого добиваются путем изменения наполнения лампы или состава люминофора в люминесцентных лампах (ЛЛ). Применение новых типов ИС – светодиодов (СД), позволяет путем комбинирования добиться практически любого спектрального состава, задаваемого соотношением $k_B:k_G:k_R$.

Цель исследований заключается в выявлении различий в качестве рассады томата, выращенной под 1) смешанным спектром от ЛЛ и 2) набором узкополосных спектров от синих, зеленых и красных СД, при одинаковой мощности потоков в каждом спектральном поддиапазоне ФАР.

(с пиками на отдельных длинах волн, характерными для используемых люминофоров) характеризовался соотношением $k_B:k_G:k_R = 34\%:32\%:34\%$, т.е. имел практически равные доли энергии в указанных поддиапазонах.

2) СД модуль, состоящий из диодов типа ARPL – Star – 3W с блоками питания HTS–200M–12. Электрическая мощность модуля составляла 185 Вт. Суммарный спектр излучения характеризовался соотношением $k_B:k_G:k_R = 35\%:29\%:36\%$ и был приближен суммарному спектру излучения ЛЛ путем подбора количества синих, зеленых и красных светодиодов и регулирования величины тока, проходящего через каждую группу светодиодов.

Спектральный состав света облучателей в опыте, измеренный спектроколориметром «ТКА-ВД/04» представлен на рис. 1.

Таким образом, несмотря на существенные различия в распределении энергии по длинам волн, потоки в синем, зеленом и красном поддиапазонах ФАР были практически одинаковы. Уровень облученности под облучателями в течение вегетационного

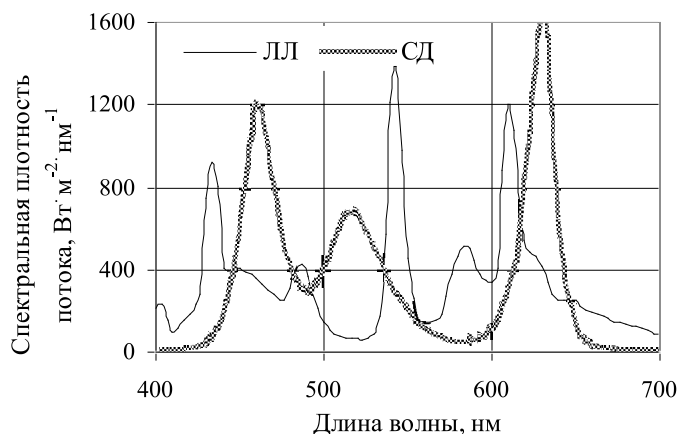


Рис. 1. Спектр излучения источников

Материалы и методы исследования

Эксперименты проводились при облучении рассады томата (*Solanum Lycopersicum*) сорта Фламинго F_1 в световой комнате. Взрослое растение образует куст высотой 0,5–1,5 м. Вегетационный период составляет 110–115 дней. Гибрид томата Фламинго F_1 относится к новым гибридам томатов, хорошо зарекомендовавших себя в хозяйственных сортоиспытаниях и внесен в Госреестр. Для большинства гибридов томата рассаду на постоянное место рекомендуется высаживать в возрасте 38–40 дней от посева. Для новых гибридов томата высадку рекомендуется производить в возрасте 35 дней, с готовой завестки первой кистью [1]. К моменту высадки рассада должна иметь 7–8 развитых листьев, высоту около 30 см и хорошо развитую корневую систему.

В качестве источников для облучения рассады использовались 2 облучателя:

1) светильник ЛСПО 4х58, состоящий из двух ЛЛ Philips Master TL – Д 58/840 и двух ЛЛ OSRAM L58/77 FLUORA. Электрическая мощность светильника составляла 213 Вт. Суммарный спектр излучения

периода поддерживался на уровне 30 Вт/м² за счет изменения высоты подвеса облучателей над растениями. Температура воздуха в помещении поддерживалась в автоматическом режиме на уровне 20–22 °С сплит-системой кондиционирования воздуха MSE24 HRN1, а относительная влажность воздуха на уровне 60–70 % ультразвуковым увлажнителем воздуха «Вдох-Нова-3000 У».

В качестве субстрата брали верховой сфагновый торф, кислый (рН 3,6), степень разложения 10 %, влажность 55 % с низким содержанием подвижных форм элементов питания. Кислотность торфа нейтрализовали агромелом из расчета 3,5 кг мела на 100 кг торфа и доводили рН до 6,0–6,2. Содержание элементов питания в торфе доводили до, мг/л: N–NO₃ – 194,5; P – 72; K – 189,6; Ca – 160; Mg – 60 с добавлением солей: B, Mo, Cu.

Семена томата Фламинго F_1 высевали в ящики с торфом, влажность торфа 60 %. После появления всходов (через 2 дня) ящики с сеянцами помещали под лампы ДНАЗ 400 на круглосуточное досвечивание (уровень освещенности 8 клк) в течение 3–х дней. В последующие 12 дней режим досвечивания соста-

вил 16 часов в сутки. На 15-е сутки растения в фазе 2-х листьев пикировали в контейнеры с торфом. Масса контейнера с торфом составила 300 г и через сутки растения были перенесены под источники света в соответствии с вариантами опыта. Расстановку рассады проводили через 18 дней после пикировки по 25 штук на 1 м², а через 22 дня после пикировки – окончательная расстановка по 20 штук на 1 м². Полив водой и подкормку растений проводили в одинаковых для всех растений количествах. Электропроводность питательного раствора поддерживали на уровне ЕС = 1,3–1,7 мСм/см. Выращивание рассады, готовой к высадке на постоянное место, завершили на 43 день после посева. По окончании опыта оценивали качество рассады.

Результаты исследования и их обсуждение

Наибольшую потребность у растений томата в воде отмечали в фазе 7–8 листьев в возрасте 32–36 дней от посева 1,6–1,9 л/м² в день. Расход элементов питания в этой фазе составил: г, д.в./м²/день: N(NO₃+NH₄) – 0,17; P – 0,10; K – 0,48; Mg – 0,21 не зависимо от типа облучателя. Под светодиодным модулем наблюдался меньший расход воды.

Динамика высоты растений под различными облучателями в процессе эксперимента представлена на рис. 2.

Результаты анализа динамики роста и развития рассады томата показывают, что 36-ти дневная рассада под ЛЛ имела наиболее близкие к нормативным требованиям среднюю высоту $24,1 \pm 0,48$ см и среднее количество листьев $8,1 \pm 0,13$ шт/раст., по сравнению с показателями рассады, растущей под СД облучателем, где растения были небольшие и эти показатели составили $18,9 \pm 0,31$ см и $8,2 \pm 0,11$ см соответственно. В обоих вариантах на 36-й день отсутствовала готовая к цветению первая кисть, появившаяся

у основной массы растений к 41 дню выращивания.

В табл. 1 показаны различия в длине междоузлий рассады, выращиваемой под различными облучателями (с указанием среднего значения $\bar{x}$, ошибки среднего S_x и коэффициента вариации V).

У растений 43-х дневного возраста наиболее соответствующая рекомендациям длина междоузлий 6–8 см приходилась на 5-е и 6-е междоузлия у растений, выращенных под ЛЛ. Под СД модулем наблюдалась недостаточная длина междоузлий, которая составила $4,64 \pm 0,2$ см.

В табл. 2 показаны основные параметры рассады в конце эксперимента.

При оценке средней сырой массы лучшие показатели были у растений, выращенных под ЛЛ, которая составила 43,97 г, что на 21,6% превышает среднюю сырую массу растений, выращенных под СД. Диаметры стеблей растений в обоих вариантах при этом 6,19 мм и 6,15 мм соответственно. Высоту, наиболее близкую к рекомендуемой, имели растения, выращенные под СД, средняя высота которых составила 32,21 см.

У растений обоих вариантов отмечали устойчивую зеленую окраску листьев и прямостоячую верхушку стебля. Растения имели вегетативный тип развития и развитую корневую систему белого цвета.

Расчеты затрат электроэнергии на выращивание рассады томата показали, что при равной суммарной энергии потока, представленной растениям затраты электроэнергии при использовании СД на 13,1% меньше, чем при использовании ЛЛ, при этом удельные затраты на создание единицы массы сухого вещества при использовании СД на 7,5% больше, чем при использовании ЛЛ (табл. 3).

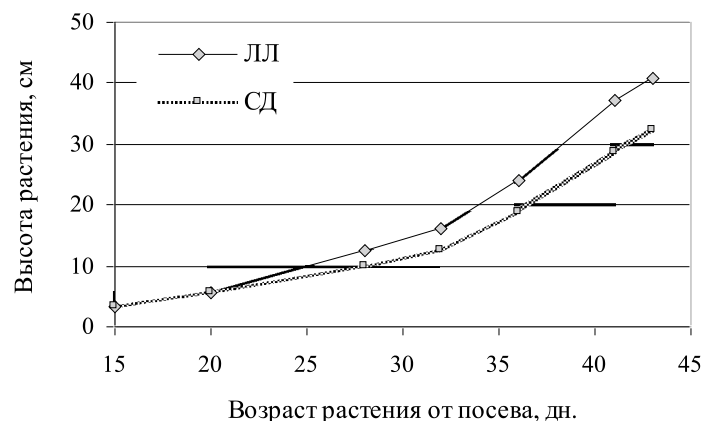


Рис. 2. Динамика высоты растений томата в процессе эксперимента

Таблица 1

Размер междоузлий под различными облучателями

№ междоузлия	СД		ЛЛ	
	$\bar{x} \pm S_x$, см	$V, \%$	$\bar{x} \pm S_x$, см	$V, \%$
1	1,73±0,098	19,6	2,46±0,19	29,2
2	3,17 ± 0,21	23,3	4,28 ± 0,22	20,7
3	3,15 ± 0,21	21,2	4,09 ± 0,21	20,7
4	4,64 ± 0,20	15,3	6,50 ± 0,21	12,9
5	4,99 ± 0,19	13,5	6,43 ± 0,23	13,9
6	3,51 ± 0,17	17,3	4,31 ± 0,20	18,5
7	2,81 ± 0,15	19,2	3,42 ± 0,21	24,3
8	1,99 ± 0,17	29,6	2,12 ± 0,14	25,9

Таблица 2

Характеристика рассады в конце эксперимента

Облучатель	Высота растения, см	Кол-во листьев, шт./раст.	Сырая масса растения, г	Диаметр стебля, мм
СД	32,21	10,58	34,43	6,15
ЛЛ	40,85	10,47	43,97	6,19

Таблица 3

Удельные показатели затрат электроэнергии на выращивание рассады томата Фламинго F₁

Облучатель	Сырая масса растений, г/м ²	Сухое в-во в зеленой массе, %	Выход сухого в-ва, г/м ²	Суммарная энергия потока, МДж/м ²	Уд.расход эл.энергии на создание сухого в-ва, МДж/г	Затраты эл.энергии, кВт*ч	Снижение затрат эл.энергии, %
ЛЛ	879,4	10,05	88,37	46,98	0,53	86,2	–
СД	688,6	12,03	82,83	46,98	0,57	74,9	13,1

Заключение

В результате проведенных исследований выявлено, что при уровне облученности 30 Вт/м² и практически одинаковом соотношении энергии в поддиапазонах в диапазоне 400–700 нм, у растений, выращенных под ЛЛ наблюдается более интенсивное образование сырой массы, превышающее этот же показатель у растений под СД на 21,6%, однако образуемое в растениях сухое вещество под СД на 19,7% выше, чем при использовании ЛЛ. Кроме этого затраты электроэнергии при использовании СД на 13,1% ниже, по сравнению с ЛЛ, а средняя высота рассады наиболее близка к рекомендуемой и составляет 32,21 см.

Из этого следуют выводы:

1. Применение для облучения формируемого из СД спектра в диапазоне ФАР позволило получить готовую к высадке на постоянное место рассаду с характеристиками, соответствующими требованиям к рассаде, хотя несколько уступающую характеристикам рассады выращенной под спектром от ЛЛ, что подтверждает предположение о возможности применения СД облучения при выращивании рассады;

2. Возможность создания облучателя путем набора светодиодов с различными длинами волн, а также возможность «гибкого» управления свечением диодов для получения разных соотношений энергии в поддиапазонах ФАР $k_B:k_G:k_R$ с одновременным

снижением затрат электрической энергии делают СД облучатели привлекательными и перспективными при использовании для выращивания рассады томата в замкнутых системах.

3. Для оптимизации параметров получаемой рассады томата требуется дальнейшее изучение влияния воздействия излучения в области ФАР.

Список литературы

1. Нормы технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады НТП 10-95. – М: МСХ РФ НИПИ Агропром, 2006. – С. 21.
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 Е.Н., Ракутько С.А. Энергосбережение в оптических электротехнологиях АПК // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: сб. докладов X Межд. научно-практич. конф. (16–17 апреля 2015 г., Великие Луки). Великолукская ГСХА. В. Луки: РИО ВГСХА, 2015. – С. 252–254.
4. Ракутько С.А. Прикладная теория энергосбережения в энерготехнологических процессах АПК: основные положения и практическая значимость // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2009. – № 6. – С. 129–136.
5. Ракутько С.А. Исследование различных источников оптического излучения при выращивании рассады томата // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства: сб. науч. тр. Вып. 85. – СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2014. – С. 69–76.
6. Ракутько С.А., Судаченко В.Н., Маркова А.Е. Оценка эффективности применения оптического излучения в светокультуре по величине энергоёмкости // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. 33. – С. 270–278.
7. Nanya K. Effects of blue and red light on stem elongation and flowering of tomato seedlings. Acta Horticulturae. – 2012. – vol. 956. – P. 261–266.