

Фотобиологическая эффективность излучения в области ФАР для ценозов редиса при использовании облучателя со светодиодами с регулируемым спектром

*А.А. ТИХОМИРОВ^{1,2}, М.С. МОЛОКЕЕВ^{3,4}, В.В. ВЕЛИЧКО^{1,2}

¹ Институт биофизики СО РАН ФИЦ «КНЦ СО РАН», ² Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва, ³ Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН ФИЦ «КНЦ СО РАН», ⁴ Сибирский федеральный университет, Красноярск
*E-mail: alex-tikhomirov@yandex.ru

Аннотация

Работа посвящена поиску наиболее эффективных спектральных режимов облучения коротко вегетирующих растений (на примере редиса) при использовании «люминофорного» облучателя со светодиодами с регулируемым спектром излучения, созданным по патенту на изобретение одного из соавторов статьи. Методология работы основана на принципе наличия специфики видовой реакции растений на спектральный состав излучения.

Исходя из этого, проводились экспериментальные фотобиологические исследования по поиску эффективных спектральных характеристик области ФАР для культивирования ценозов редиса при спектрально-стационарных и спектрально-нестационарных в течение вегетационного периода режимах облучения в условиях полной светокультуры.

Показано, что при спектрально-стационарном режиме облучения наиболее высокие показатели по продуктивности хозяйственно полезной биомассы растений редиса достигаются при спектрах с долей «красной» части (600–700 нм) в излучении в области ФАР 60 %, а при спектрально-нестационарном режиме облучения наиболее эффективной оказалась смена доминирования этой доли на доминирование «синей» (400–500 нм). Лучшие продукционные показатели для спектрально-стационарных и спектрально-нестационарных режимов облучения ценозов редиса не имеют достоверных различий, что указывает на целесообразность выбора спектрально-стационарного режима облучения растений редиса как коротко вегетирующей культуры для

условий полного искусственного облучения.

Полученные результаты могут использоваться для выбора спектральных режимов полной светокультуры для северных регионов и для изолированных помещений при выращивании растений в разных климатических зонах с использованием, в частности, технологий «City-Farm».

Ключевые слова: спектральный состав излучения, фотобиологическая спектральная эффективность излучения, регулируемый спектр излучения, люминофорные светодиоды, продуктивность редиса

Введение

Эффективность использования световых технологий сильно зависит от светотехнических характеристик источников света. Среди их наиболее важных светотехнических характеристик следует отметить энергетический КПД в заданном диапазоне спектра, поток и спектральный состав излучения. К сожалению, долгое время эти показатели не соответствовали требованиям к световому режиму выращивания растений, позволяющему раскрывать весь потенциал их фотосинтетической продуктивности для получения максимально высоких урожаев полезной продукции при заданных условиях выращивания в тепличных сооружениях. Последние два десятилетия ознаменовались рядом технологических прорывов в создании светодиодов (СД), позволяющих получать приемлемые уровни фотосинтетической фотонной облучённости (*PPFD*) во всей видимой области, что стимулирует их активное внедрение в тепличную индустрию [1]. В настоящее время в связи с но-

вым техническим решением люминофорных СД высокой мощности с регулируемым спектром [2] открылись широкие перспективы создания облучателей с такими СД (ОСД), с изменяемым спектральным составом излучения, что позволяет находить и внедрять в практику новые световые технологии, позволяющие создавать эффективные режимы облучения растений в теплицах. Особый интерес такие ОСД представляют для условий полной светокультуры, когда растения выращиваются в теплицах только при искусственном облучении, при котором правильность выбора спектра излучения облучателя не подвергается риску искажения естественным световым фоном [3]. В решающей степени спектральный состав излучения данного типа ОСД определяет состав люминофоров. При этом выбор того или иного типа (-ов) люминофора (-ов) зависит от требования того или иного растения к спектральному составу излучения. Поэтому представляются чрезвычайно важными исследования по поиску эффективных спектрально-энергетических характеристик ОСД для формирования растительной продукции.

Известно несколько подходов к их поиску, и ранее мы обсуждали основные положения, лежащие в их основе [3]. Отметим лишь, что современные исследования показали отсутствие принципа универсальности в выборе спектра излучения для выращивания растений, что диктует необходимость учёта видовых особенностей реакции конкретных видов растений на спектральные режимы облучения [4]. В концептуальном отношении используемые для исследований спектральные режимы искусственного облучения растений должны формироваться на основании обеспечения оптимального протекания не только процессов фотосинтеза, но и всего комплекса физиологических процессов, обеспечивающих максимальную продуктивность получаемой полезной биомассы на ценностическом уровне организации фотосинтетического аппарата, в котором формируется реальный урожай. Важное условие выбора спектра излучения в области ФАР – стабилизация характеристик в соседних УФ и ИК областях: иначе возможно искажение фотобиологических эффектов от ФАР. Нередко именно несоблюдение данного условия – причина про-

тиворечивых результатов в фотобиологии растений.

Представляется принципиально важной концепция поиска наиболее благоприятного фотоспектра в видимой области. Ранее выполненные фотобиологические исследования с разными комбинациями отдельных физиологически значимых спектральных зон показали, что максимальные продуктивности по хозяйственно полезной части биомассы не достижимы ни при каком попарном сочетании этих зон [5]. Это объяснимо тем, что спектры поглощения разных пигментов имеют максимумы во всех физиологически значимых спектральных зонах области ФАР, включая «зелёную». И хотя растения в «сине-красных» лучах расти могут (порой достаточно успешно), некоторая доля «зелёных» лучей весьма полезна в формировании урожая, особенно в оптически плотных ценозах [6]. Поэтому наиболее перспективными следует признать трёхкомпонентные сочетания таких зон спектра. В методическом отношении удобнее отталкиваться от белого света, как «базового», в поисках наиболее эффективных трёхкомпонентных сочетаний указанных спектральных зон. Более того, следует учитывать опыт физиологических исследований, показывающих бесперспективность определённых трёхкомпонентных сочетаний спектральных зон и наличие положительных результатов при их других сочетаниях. С этой точки зрения усиления фотобиологической эффективности ФАР по продуктивности растений зарегистрированы при следующих трёхкомпонентных сочетаниях «синей», «зелёной» и «красной» зон в области ФАР: 1) при доминировании «красной» доли [5]; 2) при снижении «синей» доли путём примерно равного перераспределения энергии в «зелёную» и «красную» зоны [7]; 3) при усилении излучения в «синей» и «красной» зонах за счёт обеднения энергией «зелёной» зоны [8]. Указанные возможные фотобиологические эффекты, связанные с отклонением спектра излучения в области ФАР от спектра искусственного белого света, зависят от видовой специфики реакции растений на спектр излучения [6].

В то же время фотобиологическими исследованиями показано, что при несменяемых в течение вегетации спектрально-стационарных ре-

жимах облучения (ССРО), с разными трёхкомпонентными сочетаниями рассматриваемых зон области ФАР сочетания с доминированием «синей» [9] или «зелёной» [10, 11] зон неперспективны.

На основании вышеизложенного наш поиск наиболее эффективно-го спектрального состава излучения по продуктивности ценоза редиса проводился при следующих трёхкомпонентных сочетаниях долей излучения в отдельных зонах области ФАР: 1) сочетания, воспринимаемые как тёпло-белый или как более холодно-белый свет; 2) сочетания с меньшей «зелёной» и большими «синей» и «красной» долями; 3) сочетания с повышенной «красной» долей.

Учёт этих принципов лежал в основе выбора в данной работе спектрального состава излучения при ССРО.

Концептуальный подход к выбору спектрально-нестационарного режима облучения (СНРО) растений в процессе вегетации также основывается на выборе долговременного (много-суточного) действия трёхкомпонентных сочетаний спектральных зон области ФАР, но с учётом данных, полученных при оценке фотобиологической спектральной эффективности при ССРО.

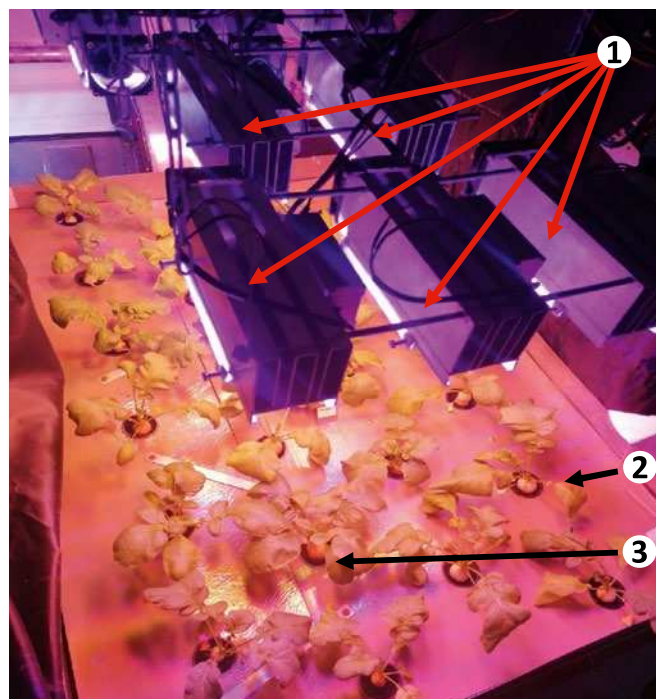
Таким образом, цель данной работы состояла в оценке фотобиологической эффективности излучения перспективного ОСД с регулируемым сплошным спектром, созданного по изобре-тению [2], по продуктивности свето-

любивых растений применительно к северным широтам на примере выращивания редиса в условиях полной светокультуры при ССРО и СНРО.

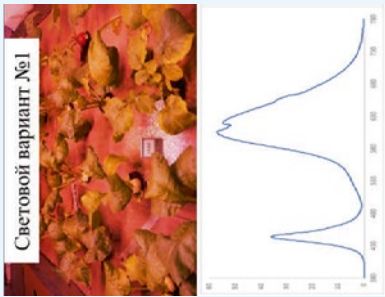
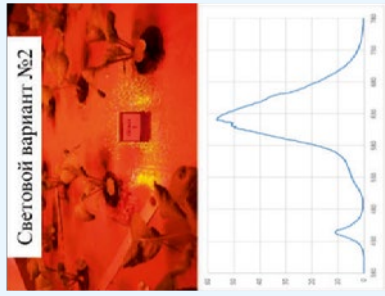

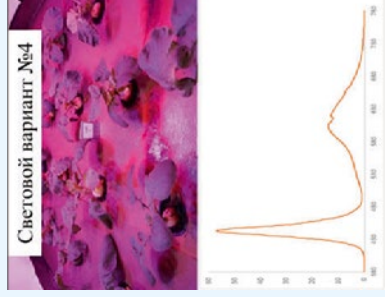
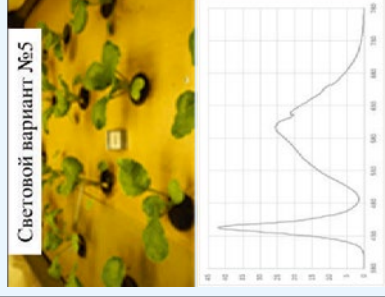
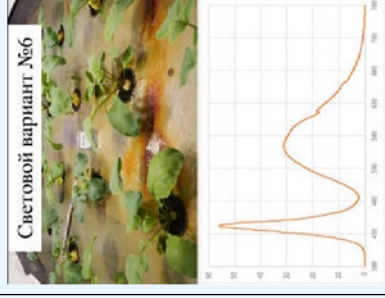
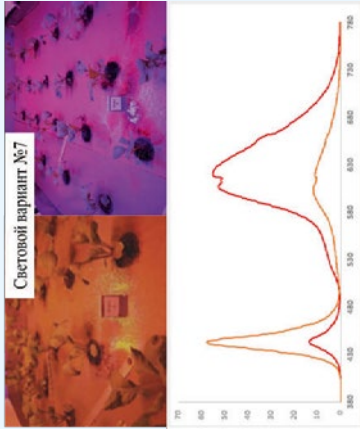
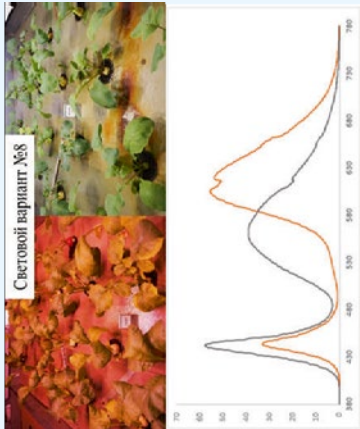
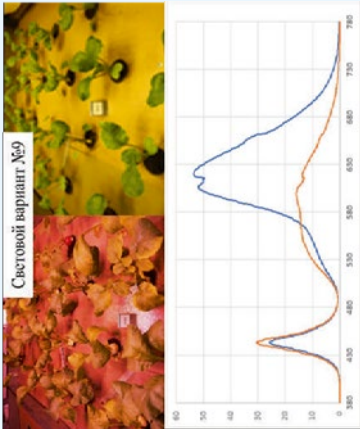
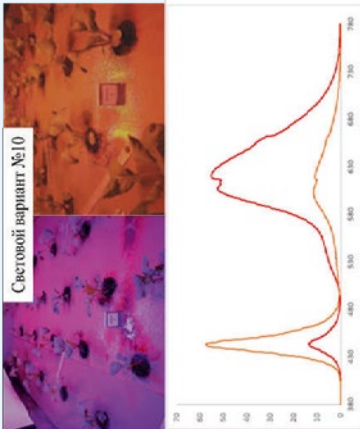
Методика

Эксперименты проводились в герметизируемом терморегулируемом фитотроне Института биофизики СО РАН ФИЦ «КНЦ СО РАН» на редисе (*Raphanus sativus* L.) сорта «Моховский». Данный сорт относится к раннеспелым овощным, устойчивым к стрелкованию на длинном дне. Семена редиса сеялись в одинаковые пластиковые горшки (объёмом по 0,1 л каждый) из расчёта 1 растение на горшок. Корнеобитаемым субстратом служил увлажнённый торф в количестве 50–52 г на горшок. Плотность посева – 18 растений/м². Облучение в области ФАР с фотопериодом 18/6 ч создавалось с помощью специальных прототипов ОСД с регулируемым спектральным составом видимого излучения [2]. Выбор данного типа ОСД обусловлен следующим. Во-первых, в нём используется принцип удалённого люминофора, обеспечивающий более эффективное охлаждение, что открывает возможность использования в ОСД компактных и высоко-мощных СД, способных генерировать большой поток излучения. Во-вторых, лёгкая и быстрая смена спектров используемых ОСД осуществляется механическим перемещением картрид-

Рисунок. Общий вид секции установки для оценки фотобиологической спектральной эффективности излучения при выращивании редиса с помощью новых, «люминесцентных», облучателей с СД: 1 – облучатели; 2 – корпус поддона из нержавеющей стали; 3 – растения редиса



Спектральные характеристики нового типа облучателей с СД по изобретению [2] в исследуемых световых вариантах

Световые варианты с постоянным спектром излучения в течение вегетации редиса					
<p>Световой вариант №1</p>  <p>«Красный свет» с15 325 к60</p>	<p>Световой вариант №2</p>  <p>«Насыщенный красный свет» с5 320 к75</p>	<p>Световой вариант №3</p>  <p>«Тепло - белый свет» с15 355 к30</p>	<p>Световой вариант №4</p>  <p>«Пурпурный свет» с50 320 к30</p>	<p>Световой вариант №5</p>  <p>«Белый свет» с25 340 к35</p>	<p>Световой вариант №6</p>  <p>«Зеленовато-белый свет» с25 350 к25</p>
Световые варианты со сменной спектра излучения в течение вегетации редиса					
<p>Световой вариант №7</p>  <p>из «Красный свет» в «Пурпурный свет» с10 320 к70 → с60 315 к25</p>	<p>Световой вариант №8</p>  <p>из «Красный свет» в «Зеленовато-белый свет» с15 325 к60 → с30 350 к20</p>	<p>Световой вариант №9</p>  <p>из «Красный свет» в «Белый свет» с15 325 к60 → с25 345 к30</p>	<p>Световой вариант №10</p>  <p>из «Пурпурный свет» в «Насыщенный красный свет» с60 315 к25 → с5 325 к70</p>		

Оценка фотобиологической спектральной эффективности излучения по продуктивности ценозов редиса при использовании нового типа облучателей с СД по изобретению [2]

№ светового варианта по табл. 1	Корнеплод, сырая биомасса, г	Общая сырая биомасса, г	$K_{\text{хоз}}$, %
Спектрально-стационарные режимы облучения (ССРО)			
1	46,8 ± 3,3	66,8 ± 4,7	70,9 ± 8,0
2	44,3 ± 2,1	64,1 ± 4,0	69,1 ± 6,1
3	39,3 ± 2,4	65,3 ± 4,1	60,0 ± 7,1
4	37,1 ± 2,9	56,1 ± 4,0	66,1 ± 6,9
5	34,1 ± 2,8	56,8 ± 4,2	60,0 ± 7,0
6	28,0 ± 2,2	40,7 ± 3,3	68,8 ± 5,5
Спектрально-нестационарные режимы облучения (СНРО)			
7	43,9 ± 2,3	74,2 ± 5,0	59,0 ± 7,3
8	43,2 ± 2,1	67,2 ± 4,0	64,3 ± 6,1
9	42,6 ± 2,0	60,0 ± 3,8	71,4 ± 5,8
10	38,7 ± 1,8	67,1 ± 4,1	57,8 ± 5,7

жей с люминофорами, что позволяет оперативно получать фактически любые соотношения потоков излучения в разных спектральных зонах видимой области и выполнять необходимые фотобиологические исследования по поиску наиболее благоприятного для растений качества излучения. Использовали два типа промышленных люминофоров: $YAG:Ce^{3+}$, излучающий на длине волны 550 нм с квантовым выходом 90–95 %, и $SrAlSiN_3:Eu^{2+}$, излучающий на длине волны 620 нм с квантовым выходом 75–78 %, при возбуждении их синим излучением с пиковой длиной волны λ_{max} 450 нм. Для инкапсуляции люминофоров использовался силикон *Sylgard 184*. При этом массовые соотношения $Sylgard:YAG:Ce^{3+}$ и $Sylgard:SrAlSiN_3:Eu^{2+}$ были 1:0,2 и 1:0,3 соответственно. Для возбуждения люминофоров использовалась группа стандартных синих СД с λ_{max} 450 нм, объединённых в единый СД излучатель мощностью 100 Вт. Всего в эксперименте использовалось 10 типов «световых» вариантов ОСД согласно табл. 1. Для них определялось соотношение «синей», «зелёной» и «красной» долей излучения в области ФАР, путём вычисления площадей под графиком спектра излучения в зонах 400–500, 500–600 и 600–700 нм соответственно. Тем самым получалась цветовая характеристика спектра $sX \ zY \ kZ$, где X , Y , Z – целые числа, обозначающие процентные доли излучений в «синей», «зелёной» и «красной» зонах области ФАР ($X+Y+Z=100$). Например, с60 з15 к25, означает, что вклад «синей» зоны – 60 %, «зелёной» – 15 % и «красной» – 25 %.

Спектральный состав излучения контролировался с помощью спектро-радиометра *AvaSpec-ULS2048-USB2 9* (Нидерланды).

Для создания равномерного светового поля над растениями ОСД устанавливались на регулируемых по высоте подвесах (рисунок).

Уровень *PPFD* составлял 200 ± 10 мкмоль/(с·м²) и поддерживался в течение вегетации регулированием высоты подвеса ОСД 1 раз в 2–е сут. Измерения *PPFD* велись с помощью квантометра фирмы *Li-COR*, содержащего измерительный блок с цифровым дисплеем *Li-250A* и квантовый датчик *Li-190R*.

Температура воздуха в дневной период составляла 22 ± 1 , ночью – $16 \pm$

1 °С, а относительная влажность воздуха – 50–60 %. Питательным раствором служил раствор Кнопа с добавлением цитрата железа и комплекса микроэлементов, еженедельно сменяемый на новый. Для предотвращения пересыхания корней проводился полив растений методом подтопления корнеобитаемого слоя с периодичностью 1 раз в 3 ч. Длительность вегетации растений – 28 сут с момента всходов. Растения выращивались в горшочках с торфом по общепринятой тепличной технологии. Оценивались продуктивность общей и хозяйственно полезной биомассы редиса. В процессе исследований растения в течение вегетации выращивались при спектральных режимах облучения в видимом оптическом диапазоне с разными максимумами излучения в «синей» (400–500 нм), «зелёной» (500–600 нм) и «красной» (600–700 нм) зонах спектра, при этом излучение в УФ и ИК областях практически отсутствовало. В световых вариантах со сменой спектра излучения в ходе вегетации (табл. 1) смену проводили один раз за вегетационный период, что соответствовало 13 или 14 суткам вегетации.

Результаты и обсуждение

Результаты поиска наиболее эффективных спектральных режимов облу-

чения для ценозов редиса приведены в табл. 2. При этом логика выбора ССРО указана в предыдущем разделе статьи. Анализ табл. 2 в части ССРО редиса показывает, что наибольшей фотобиологической эффективностью в формировании хозяйственно полезной биомассы обладает режим с максимальным излучением в интервале длин волн 600–700 нм, составляющим по уровню 60–75 % от общего излучения в области ФАР (световой вариант 1), причём проглядывается тенденция к снижению уровня продуктивности с повышением «красной» доли излучения (световой вариант 2), которая статистически недостоверна.

При планировании СНРО редиса в течение вегетации учитывались результаты, полученные при ССРО, представленные выше. Поскольку при ССРО растений наиболее эффективными по биомассе корнеплодов рекомендовали себя режимы с максимальной долей излучения в «красной» (600–700 нм) зоне области ФАР (световые варианты 1 и 2), все СНРО формировались как попарное сочетание этой зоны спектра с остальными, ранее использованными при ССРО, зонами в области ФАР.

Анализ данных по корнеплодам редиса при оценке эффективности СНРО в процессе вегетации показывает, что световые варианты 7–9 мо-

гут быть объединены в общую группу, внутри которой не обнаружено статистически достоверных различий по продуктивности корнеплодов редиса. Сравнительный анализ фотобиологической эффективности световых вариантов 7–9 для формирования хозяйственно полезной биомассы корнеплодов редиса позволяет говорить лишь о тенденции к увеличению или уменьшению фотобиологической спектральной эффективности излучения. В этом отношении самой эффективной оказалась смена в области ФАР доминирования «красной» зоны на доминирование «синей», а наименее эффективным оказался световой вариант со сменой доминирования «синей» зоны на доминирование «красной». Достоверно отстаёт по указанной эффективности от указанных вариантов световой вариант 10, хотя в сравнении с ССРО он занимает промежуточное положение.

Сравнивая результаты по продуктивности по корнеплодам редиса при ССРО и СНРО, следует отметить, что лучший результат при ССРО (световой вариант 1) достоверно не превышает лучший результат при СНРО (световой вариант 7). По другим характеристикам можно отметить некоторые иные особенности. Так, продуктивности по общей биомассе не всегда соответствуют зависимости биомассы корнеплодов от спектра излучения. Это связано с тем, что листовая биомасса не всегда зависит от спектра излучения так же, как биомасса корнеплодов. Такое несоответствие отразилось и на значениях коэффициента хозяйственной эффективности $K_{хоз}$ (табл. 2). Тем не менее, принимая за основу формирование хозяйственно-полезной биомассы, можно заключить, что для редиса, выращиваемого при выбранных условиях полной светокультуры, использование СНРО не представляется целесообразным ввиду их большей, чем ССРО, технологической сложности.

Дискуссии о перспективности использования СНРО для выращивания растений, как правило, опираются на уже доказанную потребность растений к преимущественному потреблению излучения в тех или иных зонах спектра для более успешного протекания разных этапов онтогенеза [12]. В частности, установлено, что протекание вегетативной стадии онтогенеза у ряда видов растений тре-

бует присутствия в излучении значительной доли «синей» составляющей, в то время как для процессов цветения важна повышенная доля «красной» [13]. Поэтому целесообразность смены спектрального состава света представляется перспективной при культивировании растений, которым для получения хозяйственно полезного урожая необходимо прохождение нескольких стадий вегетации. В то же время для растений, у которых формирование хозяйственно полезного урожая проходит в течение одного этапа онтогенеза (примеры: корнеплоды у редиса и листовая биомасса у салатных культур), смена спектра излучения в течение вегетации может быть технологически неперспективной, что подтверждается результатами данной работы.

Проведённые эксперименты показали, что ряд выбранных СНРО обеспечивает близкие и достаточно более высокие хозяйственно полезные урожаи (световые варианты 7–9) по сравнению с ССРО, где заметно выделяются высокими продукционными показателями лишь световые варианты 1 и 2. В физиологическом плане это объяснимо тем, что при правильно выбранных СНРО на протяжении вегетации работа фоторецепторов в целом компенсирует снижение их эффективности для протекания тех или иных физиологических процессов до смены спектра излучения, тогда как при ССРО такой компенсации нет и высокие показатели продуктивности возможны лишь, когда спектр излучения выбран максимально правильно. Наши данные показывают: поскольку в плане технологической реализации ССРО растений на фоне сопоставимых показателей продуктивности по хозяйственно полезной биомассе может оказываться проще и рациональнее, то в практическом плане он более перспективен. Такой вывод относительно всех коротко вегетирующих культур пока, однако, нельзя считать окончательным. Если в пределах одного этапа вегетации существует подэтап, на котором смена спектрального режима облучения оказывается физиологически обоснованной и даёт достоверно значимое повышение продуктивности коротко вегетирующего вида растений, тогда применение СНРО в процессе вегетации может оказываться оправданным. Однако для уверенного ответа на этот во-

прос требуются дополнительные исследования.

Другой аспект обсуждаемой проблемы связан с прогрессом в совершенствовании «люминесцентного» (по терминологии авторов) ОСД по изобретению [2]. Простота и надёжность обеспечения СНРО с помощью новых прототипов такого ОСД, использовавшегося в данном исследовании, позволила выполнить серию методически и технологически достаточно простых экспериментов с реализацией разнообразных «световых» вариантов облучения в процессе вегетации. Выполнение такого рода работ с привлечением ранее разработанных облучательных устройств [14, 15] потребовало бы существенно больших затрат и усилий.

Полученные результаты могут использоваться при выборе спектральных режимов облучения редиса для условий полной светокультуры, что может быть востребованным для светонепроницаемых теплиц в северных регионах страны, а также для культивирования растений в искусственных условиях изолированных помещений (например, на стеллажных установках с использованием технологий «*City-Farm*») в разных климатических зонах.

Проведённые исследования дали первые экспериментальные оценки по целесообразности использования ССРО и СНРО коротко вегетирующих растений (на примере редиса) с использованием нового типа ОСД [2] для условий полной светокультуры и служат стартовой основой для расширения таких исследований в сторону и тепличных растений с несколькими стадиями вегетации для получения хозяйственно ценного урожая при полном искусственном облучении.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Госзадания 121101300066–7 Минобрнауки РФ и Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» для Сибирского федерального университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Закзейм А.Л.* Светодиоды и их эффективное применение. – М.: Редакция журнала «Светотехника», 2021. – 200 с.

2. Молокеев М.С. Высокомощная лампа с регулируемым спектром / Патент России № 2792773. 2023. Бюл. № 9.

3. Тихомиров А.А., Ушакова С.А., Шихов В.Н., Шклавцова Е.С. Концептуальные подходы к выбору спектра излучения ламп для выращивания растений в искусственных условиях // Светотехника. – 2019. – № 5. – С. 19–23; Tikhomirov A.A., Ushakova S.A., Shikhov V.N., Shklavtsova E.S. Conceptual approach to selecting radiation spectrum of lamps for plant cultivation // Light & Engineering. – 2019. – Vol. 27, Spec. Is. – P. 24–30.

4. Прикупец Л.Б., Боос Г.В. Облучательные установки в сельском хозяйстве: Учеб. пособие для высших учебных заведений. – М.: Редакция журнала «Светотехника», 2023. – 136 с.

5. Тихомиров А.А., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я. Спектральный состав света и продуктивность растений. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 168 с

6. Kusuma P., Swan B., Bugbee B. Does green really mean go? Increasing the fraction of green photons promotes growth of tomato but not lettuce or cucumber // Plants. – 2021. – Vol. 10.

7. Тихомиров А.А., Золотухин И.Г., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я., Лисовский Г.М., Прикупец Л.Б. Способ выращивания огурца / Авт. свид. СССР № 1620062. 1991. № 2.

8. Wang Y. and Folta K.M. Contributions of green light to plant growth and development // American Journal of Botany. – 2013. – Vol. 100, Is. 1. – P. 70–78.

9. Pennisi G., Blasioli S., Cellini A., Maia L., Crepaldi A., Braschi I., Spinelli F., Nicola S., Fernandez J.A., Stanghellini C., Marcellis L.F.M., Orsini F., Gianquinto G. Unraveling the role of red: blue LED lights on resource use efficiency and nutritional properties of indoor grown sweet basil // Front. Plant Sci. – 2019. – Vol. 10. – P. 2–14.

10. Kim H.H., Goins G.D., Wheeler R.M. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes // American Society for Horticultural Science. – 2004. – Vol. 39, Is. 7. – P. 1617–1622.

11. Liu H., Fu Y., Hu D., Yu J., Liu H. Effect of green, yellow and purple radiation on biomass, photosynthesis, morphology and soluble sugar content of leafy lettuce via spectral wavebands «knock out» // Scientia Horticulturae. – 2018. – Vol. 236. – P. 10–17.

12. Cope K.R., Bugbee B. Spectral effects of three types of white light-emitting diodes on plant growth and development: absolute versus relative amounts of blue light // HortScience. – 2013. – Vol. 48 – P. 504–509.

13. Craig D.S., Runkle E.S. An intermediate phytochrome photoequilibrium from night interruption lighting optimally promotes flowering of several long-day plants // Environ Exp Bot. – 2016. – Vol. 121. – P. 132–138.

14. Кулешова Т.Э., Блащенко М.Н., Кулешов Д.О., Галь Н.Р. Разработка лабораторного фитотрона с возможностью варьирования спектра излучения и длительности суточной экспозиции и его биологическое тестирование // Научное приборостроение. – 2016. – Т. 26, № 3. – С. 35–43.

15. Аладов А.В., Закгейм А.Л., Музоров М.Н., Черняков А.Е. Полихромные спектрально-перестраиваемые осветительные приборы со светодиодами: опыт разработки и применения // Светотехника. – 2013. – № 5–6. – С. 34–39.



Тихомиров Александр Аполлинарьевич, доктор биол. наук, профессор. Окончил в 1970 г. Красноярский государственный университет по специальности «Физика», специализация «Физик-биофизик». Зав.

лабораторией управления биосинтезом фототрофов Института биофизики СО РАН ФИЦ «КНЦ СО РАН». Зав. кафедрой замкнутых экосистем Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва. Область научных интересов: фитоактинометрия, светофизиология растений, замкнутые экосистемы



Молокеев Максим Сергеевич, кандидат физ.-мат. наук. Окончил в 2004 г. Сибирский аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнёва по специальности «Физика». Старший научный сотрудник

Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН ФИЦ «КНЦ СО РАН». Доцент Сибирского федерального университета. Область научных интересов: кристаллография, люминесценция, физика твёрдого тела



Величко Владимир Владимирович, кандидат биол. наук. Окончил в 2004 г. Красноярский государственный университет по специальности «Физиология и биохимия растений». Старший научный

сотрудник Института биофизики СО РАН ФИЦ «КНЦ СО РАН». Доцент кафедры замкнутых экосистем Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва. Область научных интересов: фотосинтез и продуктивность высших растений как фототрофного звена искусственных экосистем, влияние условий освещения и минерального питания на рост и развитие высших растений

Interlight Central Asia – первая международная выставка освещения и автоматизации в Казахстане

С 8 по 10 ноября 2023 года в Астане успешно прошла первая международная выставка декоративного, технического освещения и электротехники – Interlight Central Asia, организованная выставочной компанией Business Media Central Asia (BMCA).

Общая площадь выставки Interlight Central Asia составила 1800 квадратных метров. 48 компаний из шести стран – Казахстана, Китая, России, Италии, Турции и Беларуси – представили инновационные продукты в области светотехники, компонентов освещения, автоматизации и умных технологий для дома и офиса. На выставке собрались ведущие компании отрасли, включая Maytoni, Aledo, Apeyron Electrics, JUNG, Wolta, Центрсвет Fael Luce, Electric, iRidi, Wizdom, Tekled, Велунд Сталь, 220 Вольт, 2GIS и участников китайского павильона.

По результатам опроса участников, 100 % установили новые контакты, а 94 % отметили положительное влияние на имидж компании.

За три дня работы выставку посетили 1,5 тыс. человек из 10 стран, представляющих целевую аудиторию: архитектура, дистрибуция, оптовая и розничная торговля, строительство, проектирование, производство и интеграцию. Насыщенная программа Interlight показала, что выставка является и эффективной деловой площадкой: состоялось 9 мероприятий, включая бизнес-конференции, круглые столы и семинары, с участием 45 спикеров и 455 слушателей.

В первый день выставки прошла бизнес-конференция «Практические советы при применении строительных материалов и технологий строительства» и открытое пленарное заседание «Перспективы развития единого торгового пространства ЕАЭС с соблюдением национального режима на примере светотехнической отрасли». Участники обсудили вопросы единого реестра КАЭС, оценки, сертификации и технического регулирования, национального режима и маркировки на территории стран ЕАЭС и другие ключевые аспекты.

9 ноября состоялось ключевое событие программы – «День городского светодизайна», в рамках которого прошли круглые столы «Современное городское освещение: рекомендации по проектированию и эксплуатации» и «Фестиваль света как драйвер развития городской среды, культуры и туризма». Кроме того, участники выставки могли посетить в этот день сессию «Автоматизация офисных пространств и коммерческих помещений» и семинар от МГК «Световые Технологии» на тему «Эффективные системы управления для городской инфраструктуры».

Следующая выставка Interlight Central Asia запланирована на 6–8 ноября 2024 года в Казахстане.

01.12.2023
<https://interlight.kz/>