

Научная статья
УДК 621.32:528.029.067/.69

ОЦЕНКА СРАВНИТЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТОДИОДНЫХ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

¹Александр Николаевич Васькин, ²Елена Николаевна Ракутько

¹ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

²Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Томаты являются одним из самых популярных культур, выращиваемых в закрытом грунте. Однако их успешное выращивание требует определенных условий, включая подходящую освещенность. Стремление к увеличению эффективности процесса выращивания томатов приводит к постоянному совершенствованию методов подсветки. Одной из актуальных технологий является использование светодиодных модулей в качестве осветительных устройств. Они отличаются низким энергопотреблением и длительным сроком службы по сравнению с традиционными светильниками. Важным аспектом в области светокультуры является анализ спектрального состава излучения. Этот спектральный состав определяется долями энергии, распределенными в различных поддиапазонах фотосинтетически активной радиации. В связи с этим, представляется интересным рассмотреть результаты эксперимента, проведенного по выращиванию рассады томата. В данном эксперименте использовались различные источники света, включая лампы и светодиоды. Сравнивая спектральный состав обоих источников, наблюдается сходство в синем, зеленом и красном поддиапазонах. Однако растения, выращенные с использованием ламп, демонстрируют большую сырую массу по сравнению с растениями, выращенными с использованием светодиодов. При этом использование светодиодов сопровождается повышенным образованием сухого вещества в растениях - количество сухого вещества было на 19,7% выше, чем у растений, выращенных при использовании ламп. Более того, использование светодиодов привело к сокращению удельного потребления электроэнергии на 15%. Эти результаты говорят о потенциальной эффективности использования светодиодов в светокультуре и подтверждают важность спектрального состава излучения для процессов роста и развития растений. Таким образом, результаты исследования предоставляют перспективу использования светодиодов в промышленном выращивании рассады томата.

Ключевые слова: светокультура, облучатель, излучение, энергия, радиация.

Для цитирования: Васькин А.Н., Ракутько Е.Н. Оценка сравнительных показателей спектрального состава светодиодных и люминесцентных источников оптического излучения // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 3 (103). С. 73-79.

Original article

EVALUATION OF COMPARATIVE SPECTRAL COMPOSITION INDICATORS LED AND FLUORESCENT OPTICAL RADIATION SOURCES

¹Alexander N. Vas'kin, ²Elena N. Rakut'ko

¹Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Kokino, Russia

²Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSBSI FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

Abstract. Tomatoes are one of the most popular crops grown indoors. However, their successful cultivation requires certain conditions, including suitable illumination. The desire to increase the efficiency of the tomato growing process leads to constant improvement of illumination methods. One of the most relevant technologies is the use of LED modules as lighting devices. They are characterized by low energy consumption and long service life compared to traditional lamps. An important aspect in the field of light culture is the analysis of the spectral composition of radiation. This spectral composition is determined by the energy fractions distributed in various sub-ranges of photosynthetically active radiation. In this regard, it is interesting to consider the results of an experiment conducted on growing tomato seedlings. In this experiment, various light sources were used, including lamps and LEDs. Comparing the spectral composition of both sources, there is a similarity in the blue, green and red sub-bands. However, plants grown using lamps exhibit a greater crude mass compared to plants grown using LEDs. At the same time, the use of LEDs is accompanied by increased formation of dry matter in plants - the amount of dry matter was 19.7% higher than in plants grown using lamps. Moreover, the use of LEDs has led to a 15% reduction in specific electricity consumption. These results indicate the potential effectiveness of the use of LEDs in light culture and confirm the importance of the spectral composition of radiation for the processes of plant growth and development. Thus, the results of the study provide a perspective for the use of LEDs in the industrial cultivation of tomato seedlings.

Key words: light culture, irradiator, radiation, energy, radiation.

For citation: Vaskin A.N., Rakutko E.N., Evaluation of comparative spectral composition indicators led and fluorescent optical radiation sources // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. 3 (103). 73-79.

Введение. В АПК, энергосбережение в технологических процессах является важной задачей. Особое внимание следует уделять процессам, использующим оптическое излучение. В АПК, одним из таких процессов является светокультура - метод выращивания растений с использованием искусственного освещения. Для фотосинтеза и получения полезной продукции в светокультуре основным источником энергии является поток оптического излучения в ФАР диапазоне длин волн от 400 до 700 нм [3].

Регулирование светового режима является одним из методов энергосбережения в области светокультуры. В данной сфере существует несколько вариантов регулирования, включая аргументированный выбор источников излучения и настройку спектра излучения в определенном диапазоне. Такой подход позволяет значительно сократить энергопотребление и повысить эффективность использования источников света. Различные источники излучения имеют разные энергетические характеристики, а значит, правильный выбор источников может существенно снизить энергопотребление. Кроме того, настройка спектра излучения в определенном диапазоне позволяет оптимизировать растительные процессы и достичь максимально эффективного использования света при выращивании растений. Данные методы регулирования светового режима являются важными шагами в направлении энергосбережения и повышения устойчивости светокультуры к изменениям внешних условий. Таким образом, применение этих методов может иметь значительные позитивные результаты в экономии энергии и увеличении эффективности светокультуры.

Ответственный подход к выбору и использованию источников света может значительно повлиять на эффективность потребления энергии. Регулирование спектра излучения включает в себя возможность выбора оптимальных параметров для достижения желаемых эффектов в культуре растений. Это включает в себя изменение длины волны и интенсивности излучения в соответствии с различными фазами развития растений.

Спектральный состав излучения является одним из важных экономических параметров в светокультуре. Его соответствие требуемым значениям напрямую влияет на результаты производства [4]. Однако следует отметить, что эффект спектрального состава может различаться в зависимости от того, используется ли излучение для досвечивания вместе с естественным освещением или при отсутствии солнечного света. Например, применение натриевых ламп для облучения растений в закрытых помещениях без доступа к солнцу может вызвать растягивание растений [5]. В метрологии светокультуры часто используется подход, основанный на выделении трех спектральных поддиапазонов ФАР. Эти поддиапазоны включают в себя синий диапазон (B), который простирается от 400 до 500 нм, зеленый диапазон (G) с длиной волны от 500 до 600 нм и красный диапазон (R) с длиной волны от 600 до 700 нм [2]. За время, прошедшее с момента проведения исследования, было накоплено большое количество экспериментальных данных о воздействии этих поддиапазонов ФАР на рост растений. В ходе исследования выяснилось, что для достижения наилучших результатов в росте растений необходимо использовать различный спектральный состав излучения в зависимости от вида и сорта. Этот факт подтверждается соотношением энергии в поддиапазонах ФАР $kB:kG:kR$ [6.7].

В современной сфере освещения наблюдается повышение технологического уровня, что открывает новые возможности в контроле спектрального состава потока света. Такие возможности достигаются с использованием современных источников света, таких как газоразрядные лампы и люминесцентные лампы. В газоразрядных лампах изменение состава заполняющего газа или выбор соответствующего состава люминофора в люминесцентных лампах позволяют контролировать спектральный состав светового потока. Однако, с появлением светодиодов в качестве нового типа источника света, достижение желаемого спектрального состава стало проще. Светодиоды предлагают возможность создавать практически любой желаемый спектральный состав путем комбинирования различных типов светодиодов. Это открывает широкие перспективы в области освещения, так как позволяет адаптировать спектр света под конкретные потребности и требования.

Таким образом, развитие технологий в сфере освещения приводит к возможности контролировать спектральный состав потока света, и применение светодиодов в этом процессе открывает новые перспективы для создания настраиваемого и эффективного освещения. Это открывает новые возможности для контроля спектральных свойств источников света и создания специализированного освещения с заданными параметрами спектра. Таким образом, современные источники света предоставляют широкие возможности для настройки спектральных характеристик освещения в соответствии с конкретными требованиями и задачами.

Цель исследований заключается в оценке качества рассады томата, полученной при использовании спектра с узкими полосами, содержащим синий, зеленый и красный свет, при условии оди-

наковой мощности потоков света в каждом диапазоне ФАР от СД, и смешанного спектра, полученного с помощью фитооблучателя с использованием ЛЛ.

Материалы и методы. В ходе проведения исследований были осуществлены эксперименты в световой комнате, направленные на воздействие излучением на рассаду томатов сорта Фламинго F1. Указанный сорт является гибридным и отлично себя зарекомендовал, что подтверждено его включением в Госреестр. Растение Фламинго F1 представлено кустарником, высота которого колеблется от 0,5 до 1,5 метра, а период вегетации составляет 110-115 дней.

Высадка рассады новых гибридов томата на постоянное место подразумевает определенные параметры, которые необходимо принять во внимание при выборе момента этой процедуры. Рекомендуется проводить высадку рассады в возрасте 35 дней после посева. В этом периоде рассада должна иметь 7-8 развитых листьев и достигать высоты около 30 сантиметров. Кроме того, рассада должна обладать хорошо развитой корневой системой. Важно отметить, что указанный возраст соответствует готовности рассады к зацветанию первой кистью.

Однако, для большинства других гибридов томата рекомендуется высаживание на постоянное место проводить чуть позже, а именно в возрасте 38-40 дней после посева. Это обусловлено особенностями развития данных гибридов и требуется для достижения оптимальных результатов.

Данное исследование выполнено с целью изучения воздействия двух источников облучения на рассаду. В эксперименте использовались светодиодный модуль и облучатель.

Светодиодный модуль представляет собой комплекс из трех облучателей, каждый из которых содержит светодиоды различных цветов - синего, зеленого и красного. В спектре светодиодного модуля присутствует определенное соотношение цветов - 36% синего, 29% зеленого и 35% красного. Был проведен анализ облученности рассады при использовании указанных источников.

Сначала была проведена оценка для определения облученности на плоскости размером 0,6 x 0,5 м при ее подвесе на высоте 13 см. Результаты этого исследования показали, что неравномерность облученности не превышает 15%. Таким образом, можно сделать вывод о равномерном распределении облученности в данной системе. Мощность светодиодного модуля, использованного в этом эксперименте, составляла 185 Вт.

Второй облучатель ЛСПО 4x58 объединяет две линии световых инноваций. Он включает в себя две лампы Philips Master TL-D 58/840 и две лампы OSRAM L 58/77 FLUORA. Общая электрическая мощность данного осветительного устройства составляет 213 Вт, что, несомненно, является незначимым показателем для энергоэффективных технологий.

Одной из важных характеристик светильника является соотношение цветов в его спектре. В данном случае, соотношение цветов в спектре светильника ЛСПО 4x58 составляет 34% света, относящегося к синему цвету (С), 33% света, относящегося к зеленому цвету (З), и 33% света, относящегося к красному цвету (К).

Для оценки равномерности освещения светильником ЛСПО 4x58 было проведено исследование на плоскости размером 0,8x0,3 м. Полученные данные показали, что неравномерность облученности на данной плоскости не превышает 15%.

Важным параметром светильника ЛСПО 4x58 является высота от нижней кромки люминесцентной трубки до поверхности освещения, которая составляет 27,5 см. Это значение является оптимальным для достижения требуемого уровня освещения.

Таким образом, представленные в данном исследовании характеристики светильника ЛСПО 4x58 позволяют оценить его электрическую мощность, соотношение цветов в спектре, равномерность облученности на плоскости и высоту от нижней кромки люминесцентной трубки до поверхности освещения. Эти данные могут быть полезными при выборе светильника для конкретного применения.

В таблице 1 представлено распределение оптического потока облучателей по поверхности при фиксированном уровне облученности 140 мкмоль/м²с.

В таблице 2 представлено изменение качественного состава спектра в светодиодном модуле с приближением к спектру люминесцентного светильника.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что распределение оптического потока облучателей по поверхности при фиксированном уровне облученности 140 мкмоль/м²с имеет свои особенности. Интересный факт состоит в том, что качественный состав спектра в светодиодном модуле был изменен и, как показывают данные таблицы 2, теперь ближе к спектру люминесцентного светильника. Это может быть важным для достижения оптимальных условий освещения в различных сферах деятельности, где облученность имеет значительное значение. Подобные исследования могут способствовать дальнейшему развитию эффективных и экологически чистых источников освещения.

Таблица 1 – Уровни облученности на координатной плоскости от светодиодного модуля, мкмоль/м²с

Y	X								
	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
80	2,32	2,98	3,41	3,75	3,50	3,80	3,85	3,38	2,36
70	5,32	7,82	8,26	9,14	7,85	8,93	9,68	9,56	6,58
60	14,18	22,62	24,74	27,03	27,57	27,01	26,00	23,14	15,69
50	33,29	60,77	61,76	61,93	69,14	61,56	58,58	55,28	33,71
40	50,52	95,06	100,09	98,78	109,04	97,28	93,05	87,11	52,99
30	61,08	112,21	115,78	117,63	130,73	115,83	113,48	103,59	63,85
20	62,50	115,43	122,55	122,59	135,54	122,69	118,68	108,02	63,64
10	64,62	122,98	125,18	125,19	140,20	126,32	121,82	111,79	65,27
0	62,54	118,43	123,57	122,60	138,36	126,18	120,98	110,60	65,36
-10	63,77	121,82	124,09	123,55	140,25	127,09	123,17	111,14	65,60
-20	63,63	117,63	122,02	121,68	136,33	121,74	120,08	111,20	65,54
-30	61,49	116,64	119,73	117,24	133,64	118,38	117,18	108,30	61,76
-40	51,78	100,48	102,79	100,48	116,30	101,48	102,31	92,05	51,16
-50	33,29	63,08	64,87	65,19	73,62	65,82	63,95	61,69	34,75
-60	13,46	21,34	23,71	25,40	28,09	27,29	26,08	24,11	15,90
-70	4,87	6,73	7,68	8,27	9,24	9,35	9,28	8,28	5,78
-80	1,98	2,36	2,61	2,99	3,26	3,47	3,23	3,11	2,32

Таблица 2 – Показатели облученности на плоскости от люминесцентного светильника, мкмоль/м²с

Y	X								
	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
80	14,72	22,39	30,13	35,62	37,86	35,42	28,64	21,26	12,66
70	20,53	33,21	49,87	63,77	71,60	64,07	48,28	31,23	18,36
60	27,12	45,88	68,92	93,74	107,42	93,61	68,65	41,67	24,35
50	31,46	51,33	81,46	112,37	127,18	112,07	79,75	49,95	28,46
40	36,10	55,74	89,12	121,56	137,29	120,78	86,22	54,72	31,60
30	38,43	58,94	92,17	126,00	141,64	124,94	90,78	57,65	32,89
20	39,26	61,00	94,16	127,36	143,44	126,47	92,10	59,70	34,50
10	38,98	61,10	95,21	127,82	144,11	127,41	92,12	60,63	35,66
0	38,62	66,61	98,20	130,01	144,19	128,33	92,80	60,69	40,82
-10	37,55	61,96	95,15	127,30	143,55	127,10	92,84	60,81	35,62
-20	36,78	59,34	92,61	125,28	141,51	126,45	91,86	60,72	35,69
-30	35,47	55,87	89,56	122,18	138,25	123,78	89,98	58,65	33,51
-40	34,22	52,88	85,44	117,69	132,75	118,72	85,94	55,82	33,72
-50	31,25	47,85	78,05	107,70	122,12	109,20	79,15	51,36	27,12
-60	26,25	44,48	65,32	90,58	101,78	90,81	66,89	43,66	22,37
-70	20,26	31,90	46,88	64,10	70,93	64,31	49,04	33,17	17,95
-80	15,34	21,05	29,81	37,79	39,91	38,15	31,16	22,21	14,18

Спектральные характеристики световых потоков применяемых облучателей представлены на рисунках 1 и 2.

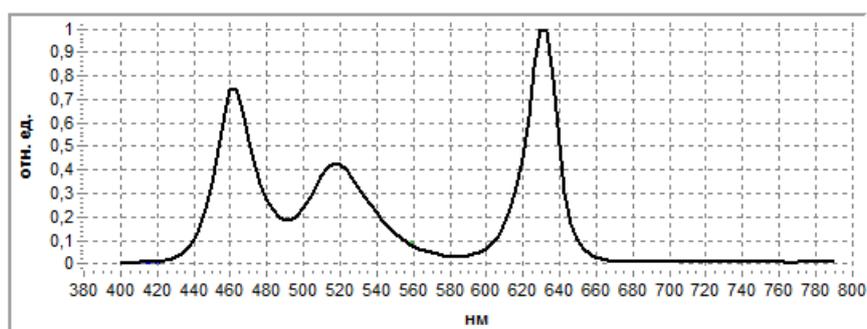


Рисунок 1 – Спектральная характеристика светового потока светодиодного модуля

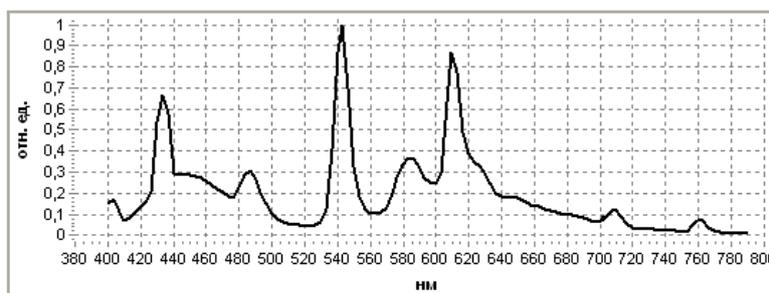


Рисунок 2 – Спектральная характеристика светового потока люминесцентного светильника

Результаты исследования и их обсуждение. Средняя величина нарастания стебля растения томата в течение 5-и дней под светодиодным модулем составила от 6,5 до 9,8 см с незначительным отклонением признака в пределах 4,56 ... 6,66% (табл. 3). Под люминесцентным светильником данное значение составило от 8,0 до 13,3 см (8,44 ... 8,72) соответственно. Разница в нарастании стебля между светодиодным модулем и люминесцентным светильником также имела свои отличия. Относительная ошибка среднего значения нарастания стебля для обоих типов светильников является величиной средней.

Таблица 3 – Динамика роста и развития растений томата сорта Фламинго F1 (опыт от 22.04.22)

Вариационная статистика	23.05		28.05		02.06	
	Высота растения, см	Кол-во листьев, шт/раст.	Высота растения, см	Кол-во листьев, шт/раст	Высота растения, см	Кол-во листьев, шт/раст
Светодиодный модуль						
Среднее арифметическое, $\bar{x} \pm S\bar{x}$	12,4±0,18	6,81±0,10	18,9±0,31	8,2±0,105	28,7±0,37	10,0±0,24
Стандартное отклонение, s	0,7	0,40	1,26	0,41	1,31	0,85
Коэффициент вариации, V, %	5,64	5,87	6,66	5,0	4,56	8,5
Относительная ошибка средней, $S\bar{x}$, %	1,45	1,46	1,64	1,28	1,28	2,4
Люминесцентный светильник						
Среднее арифметическое, $\bar{x} \pm S\bar{x}$	16,1±0,35	6,53±0,13	24,1±0,48	8,1±0,13	37,4±0,84	10,13±0,19
Стандартное отклонение, s	1,36	0,51	1,86	0,51	3,26	0,74
Коэффициент вариации, V, %	8,44	7,81	7,71	6,29	8,72	7,30
Относительная ошибка средней, $S\bar{x}$, %	2,17	1,99	1,99	1,60	2,24	1,87

По результатам проведенного исследования получена характеристика рассады томата (табл. 4).

Таблица 4 – Томат сорта Фламинго F1 характеристика рассады 41 дня (начало опыта 22.04.2022 г., конец – 04.06.2022 г)

Показатели	Среднее арифметическое, $\bar{x} \pm S\bar{x}$	Стандартное отклонение, s	Коэффициент вариации V, %	Относительная ошибка средней, $S\bar{x}$ %
Светодиодный модуль				
Высота растения, см	32,21±0,43	1,43	4,43	1,33
Количество листьев, шт.	10,58±0,15	0,51	4,82	1,42
Диаметр стебля, мм	6,15±0,10	0,36	5,77	1,63
Сырая масса растения, г	35,77±1,17	3,09	8,63	3,27
Сухое вещество, %	12,03±0,13	0,26	2,16	1,08
Люминесцентный светильник				
Высота растения, см	40,85±0,99	3,59	8,76	2,42
Количество листьев, шт.	10,47±0,17	0,64	6,11	1,62
Диаметр стебля, мм	6,19±0,08	0,33	5,33	1,29
Сырая масса растения, г	43,97±0,52	1,73	3,93	1,18
Сухое вещество, %	10,05±0,20	0,39	3,88	1,99

В зеленой части эксперимента были применены светодиодные модули, которые имели спектр в соотношении C:3:K=36:29:35. Длины волн, используемые в эксперименте, находились в диапазонах 440-480 нм (синий), 500-540 нм (зеленый) и 620-640 нм (красный). Интенсивность освещения составляла 140 мкмоль/м²с.

Результаты эксперимента показали, что при указанных условиях, влияние на рост, развитие и накопление массы сухого вещества у томатных растений наиболее благоприятно в зеленой части спектра.

Анализ физиологического состояния растений не выявил явных отклонений. Однако наблюдается недостаток инфракрасного тепла в спектре света, который требуется растениям.

Наиболее комфортные условия для роста растений обеспечиваются фотонным потоком, где присутствует определенное соотношение цветов в спектре. В данном случае соотношение составляет 34:33:33 для синего, зеленого и красного цветов соответственно. Каждый цвет имеет свою длину волны, которая находится в определенных диапазонах. Для синего цвета это 425-435 нм, для зеленого - 535-555 нм, а для красного - 605-615 нм. Эти диапазоны длин волн поддерживают оптимальные условия, способствующие росту растений.

Результаты эксперимента показали, что рассада, выращенная под воздействием такого светильника, характеризуется мощными растениями с высоким тургором листьев и хорошо развитой корневой системой. Это связано с тем, что широкий спектральный состав оптического излучения светильника, включающий инфракрасную область спектра, способствует развитию растений. Чрезвычайно важная роль играют именно определенные диапазоны длин волн, которые находятся в спектре светильника.

Таким образом, на основе полученных экспериментальных данных можно утверждать, что фотонный поток, создаваемый особым светильником, обеспечивает оптимальные условия для растений, способствуя их здоровому и активному росту.

Создание 1 г сухого вещества с использованием светодиодных модулей и люминесцентных светильников требует расхода определенного количества энергии потока оптического излучения. Проведенный сравнительный анализ показателей удельного расхода энергии (табл. 5) показал, что при использовании данных источников света наблюдается практически одинаковое значение этого показателя, которое составляет приблизительно 0,53-0,54 МДж/г. Таким образом, различия между светодиодными модулями и люминесцентными светильниками в отношении удельного расхода энергии потока оптического излучения являются незначительными.

Таблица 5 – Показатели затрат электроэнергии на выращивание рассады

Показатели	Варианты опыта	
	светодиодный модуль	люминесцентный светильник
Сырая масса растений, г/растение	35,77	43,97
Количество растений, штук/м ²	20	20
Сырая масса, г/м ²	715,4	879,4
Сухое вещество, %	12,03	10,05
Выход сухого вещества, г/м ²	86,06	88,37
Суммарная энергия потока излучения на получение сухого вещества, МДж/м ²	46,98	46,98
Удельный расход энергии потока излучения на создание сухого вещества, МДж/г	0,55	0,53

Томаты являются одним из самых популярных культур, выращиваемых в закрытом грунте. Однако их успешное выращивание требует определенных условий, включая подходящую освещенность. Стремление к увеличению эффективности процесса выращивания томатов приводит к постоянному совершенствованию методов подсветки.

Одной из актуальных технологий является использование светодиодных модулей в качестве осветительных устройств. Они отличаются низким энергопотреблением и длительным сроком службы по сравнению с традиционными светильниками, такими как люминесцентные светильники.

Для исследования эффективности светодиодных модулей в выращивании рассады томатов был проведен эксперимент. В ходе эксперимента был измерен расход электроэнергии при использовании светодиодных модулей и люминесцентных светильников. Результаты показали, что расход электроэнергии при выращивании рассады томатов под светодиодным модулем снизился на 15% по сравнению с использованием люминесцентных светильников, и составил 86,2 кВт•ч.

Это снижение энергопотребления является важным фактором, который следует учитывать при выборе методов и оборудования для выращивания рассады томатов. Оно позволяет снизить затраты на электроэнергию и повысить экономическую эффективность процесса выращивания.

Таким образом, результаты эксперимента подтверждают эффективность использования светодиодных модулей в выращивании рассады томатов. Этот метод позволяет достичь значительного снижения расхода электроэнергии и может быть рекомендован для использования в сельском хозяйстве.

В закрытых помещениях на основе проведенных исследований можно рекомендовать использовать светодиодные модули с равноэнергетическим спектром и соотношением компонентов С:З:К=36:29:35.

Заключение. Результаты исследования показали, что применение светодиодного светильника на рассаде томата без естественного освещения является перспективным. Сравнивая качество рассады, которая была выращена под светодиодным модулем, и качество рассады, которая была выращена под люминесцентным светильником, установлена их сопоставимость. По результатам исследования отмечено, что энергетическая эффективность светодиодного модуля превышает эффективность люминесцентного светильника. Это отражается в снижении удельных затрат энергии на 1 г сухого вещества, которые составляют 0,53-0,54 МДж. Следовательно, можно утверждать, что светодиодный модуль обладает более высокой энергоэффективностью по сравнению с люминесцентным светильником.

Кроме того, светодиодный модуль позволил снизить расход электроэнергии на выращивание рассады томата на 15%. Таким образом, использование светодиодных модулей в сельском хозяйстве может привести к значительной экономии электроэнергии и снижению затрат на выращивание рассады.

Список источников

1. Васькин А.Н., Ракутько С.А. Расчет параметров радиационной среды от светодиодного фитооблучателя // Вестник Брянской ГСХА. 2023. № 5 (99). С. 9-13.
2. Ракутько С.А., Ракутько Е.Н. Способ биоиндикации агроэкосистем с применением метода компьютерной морфоцветометрии // Известия Санкт-Петербургского ГАУ. 2023. № 1 (70). С. 111-119.
3. Ракутько Е.Н., Медведев Г.В., Ракутько С.А. Применение отражательных свойств листа растения в агроэкомониторинге // Известия Санкт-Петербургского ГАУ. 2023. № 3 (72). С. 99-107.
4. Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Медведев Г.В. Разработка экспериментального фитотрона и его применение в исследованиях по энергоэкологии светокультуры // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17, № 2. С. 40-48.
5. Устройство для морфоцветометрии листьев растений: пат. 214546 Рос. Федерация: U1 / Ракутько Е.Н., Ракутько С.А., Шаракшанэ А.С., Лермонтов С.А. - № 2022117226; заявл. 27.06.2022; опубл. 02.11.2022.
6. Устройство для выращивания растений: пат. 2784076 Рос. Федерация: C1 / Мишанов А.П., Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Маркова А.Е. - № 2022113891; заявл. 24.05.2022; опубл. 23.11.2022.
7. Мишанов А.П., Ракутько Е.Н., Ракутько С.А. Цифровой светодиодный светильник с регулируемым спектром // Известия Санкт-Петербургского ГАУ. 2022. № 1 (66). С. 125-134.
8. Ракутько С.А., Васькин А.Н., Ракутько Е.Н. Применение морфо-цветометрического анализа в биоиндикации экосистем // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3 (67). С. 445-458.
9. Ракутько Е.Н., Ракутько С.А., Васькин А.Н. Методика расчета параметров радиационной среды от светодиодного фитооблучателя // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 1 (98). С. 71-82.

Информация об авторах:

А.Н. Васькин – старший преподаватель кафедры автоматизи, физики и математики, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, vaskin32@mail.ru.

Е.Н. Ракутько – научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

Information about the authors:

A.N. Vas'kin - Senior lecturer of the Department of Automation, Physics and Mathematics, Bryansk State Agrarian University, vaskin32@mail.ru.

E.N. Rakut'ko - research associate, Institute of Agricultural Engineering and Environmental Problems of Agricultural Production (IEEP) – branch of FSBSI FSAC VIM.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 18.04.2024; одобрена после рецензирования 22.03.2024, принята к публикации 27.03.2024.

The article was submitted 18.04.2024; approved after reviewing 22.03.2024; accepted for publication 27.03.2024.

© Васькин А.Н., Ракутько Е.Н.