

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-45-52>
УДК: 635.64:581.1.043

В.Г. Король*, В.М. Пчелин

ООО «Рефлекс»
Россия, г. Москва

*Автор для переписки: vk@reflux.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Король В.Г.: проведение полевых опытов, обработка данных, написание и редактирование рукописи. Пчелин В.М.: разработка методики проведения опытов, подбор и оценка светотехнического оборудования, участие в написании и редактировании рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Король В.Г., Пчелин В.М. Влияние гибридной системы облучения на рост, развитие и продукционный процесс у культуры томата. *Овощи России*. 2024;(3):45-52.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-45-52>

Поступила в редакцию: 09.04.2024

Принята к печати: 13.05.2024

Опубликована: 27.05.2024

Valentin G. Korol*, Vladimir M. Pchelin

LLC Reflux
Moscow, Russia

*Correspondence Author: vk@reflux.ru

Authors' Contribution: Korol V.G.: conducting field experiments, data processing, writing and editing the manuscript. Pchelin V.M.: development of experimental methods, selection and evaluation of lighting equipment, participation in writing and editing the manuscript.

Conflict of interest: The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Korol V.G., Pchelin V.M. The influence of a hybrid irradiation system on the growth, development and production process of tomato crops. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(3):45-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-45-52>

Received: 09.04.2024

Accepted for publication: 13.05.2024

Published: 27.05.2024

Влияние гибридной системы облучения на рост, развитие и продукционный процесс у культуры томата

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Светодиодные источники облучения растений, превосходя уровень натриевых источников света по энергоэффективности, превосходят их и по возможности оптимизации спектральных характеристик. Поэтому вопрос более широкого использования светодиодных источников света при выращивании растений в условиях светокультуры актуален. Обладая существенно большей эффективностью, в сравнении с натриевыми лампами высокого давления, светодиоды вызывают большой интерес у тепличников. Однако, для успешного применения этих новых источников света нужны новые подходы. А главное в том, что нельзя широко использовать светодиодные источники облучения растений без изменения технологии выращивания овощных культур в защищенном грунте, без внедрения новых, специально созданных гибридов. А прямая замена натриевых источников света на светодиодные не имеет смысла.

Методы. Исследования проводили в современной теплице в контролируемых условиях реальной светокультуры при выращивании среднесплодного томата F₁Боунтис (DRS). Площадь учетной деланки составила 326 м². Для фенологических наблюдений и учета урожая в центре учетной деланки выделены участки с одинаковым количеством растений, оставив по краям защитные полосы в один ряд растений. Установленная мощность освещения – 200 Вт/м². Источником света служили натриевые лампы высокого давления ДНаЗ/Reflux 600W 400V с светильником ЖСП25 Рефлекс с ЭПРА, а также светодиодный тепличный светильник 680W 400V.

Результаты. При использовании гибридной системы суммарная освещенность в области ФАР выше на 40%, по сравнению с натриевой системой освещения и следовало бы ожидать, что и урожайность культуры томата изменится соответственно. В целом за весь период проведения эксперимента урожайность в условиях гибридного освещения была выше всего на 3 кг/м² или 5,5% и составила 58,3 кг/м², а при натриевой системе – 55,2 кг/м². При этом в условиях гибридной системы освещения рост растений несколько отставал от контроля: длина главного стебля – на 15%, количество заложившихся листьев и их средняя длина на 3%, количество сформировавшихся соцветий – на 5%, толщина листовой пластинки – на 20%.

Заключение. Увеличение освещенности не всегда приводит к аналогичному повышению урожайности. Для растений важен не просто свет, важно правильно оценивать его продуктивность и спектральный состав. Проблема оценки освещенности с учетом реального взаимодействия света с растением существует и ее надо решать.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

натриевая и гибридная системы облучения растений, светодиодные светильники, спектр излучения, рост, лист, соцветие, масса плода, урожайность

The influence of a hybrid irradiation system on the growth, development and production process of tomato crops

ABSTRACT

Relevance. LED sources of plant irradiation, surpassing the level of sodium light sources in terms of energy efficiency, are superior to them in terms of the possibility of optimizing spectral characteristics. Therefore, the issue of wider use of LED light sources when growing plants under light culture conditions is relevant. Possessing significantly greater efficiency compared to high-pressure sodium lamps, LEDs are of great interest to greenhouse growers. However, the successful application of these new light sources requires new approaches. And the main thing is that LED sources of plant irradiation cannot be widely used without changing the technology for growing vegetable crops in protected soil, without introducing new, specially created hybrids. And direct replacement of sodium light sources with LEDs does not make sense. Methods. The studies were carried out in a modern greenhouse under controlled conditions of real light culture while growing a medium-fruited tomato F₁ Bountis (DRS). The area of the registration plot was 326 m². For phenological observations and crop recording, areas with the same number of plants were allocated in the center of the recording plot, leaving protective strips in one row of plants along the edges. The installed lighting power is 200 W/m². The light source was high-pressure sodium lamps DNaZ/Reflux 600W 400V with a ZhSP25 Reflux lamp with electronic ballasts, as well as a LED greenhouse lamp 680W 400V.

Results. When using a hybrid system, the total illumination in the PAR region is 40% higher compared to a sodium lighting system, and it would be expected that the yield of the tomato crop will change accordingly. In general, over the entire period of the experiment, the yield under hybrid lighting conditions was higher by only 3 kg/m² or 5.5% and amounted to 58.3 kg/m², and under the sodium system – 55.2 kg/m². At the same time, under the conditions of the hybrid lighting system, plant growth was slightly behind the control: the length of the main stem was by 15%, the number of established leaves and their average length by 3%, the number of formed inflorescences by 5%, and the thickness of the leaf blade by 20%.

Conclusion. An increase in light does not always lead to a similar increase in yield. Not just light is important for plants, it is important to correctly assess its productivity and spectral composition. The problem of assessing illumination taking into account the real interaction of light with the plant exists and must be solved.

KEYWORDS:

sodium and hybrid plant irradiation systems, LED lamps, radiation spectrum, growth, Leaf, inflorescence, fruit weight, yield.

Введение

Вопросы внедрения в производство светодиодных источников облучения растений в защищенном грунте вызывают большой интерес. Энергетическая эффективность светодиодов существенно выше в сравнении с натриевыми источниками освещения и составляют 3,2-3,7 мкмоль/(м²с) против 1,8-2,0 мкмоль/(м²с) [1,2,3]. В большинстве светодиодных светильников наиболее распространено использование синего и красного диапазонов спектра [4]. Однако, большинство исследователей считают, что растениям необходим полный спектр излучения [4,5,6], именно такой светодиодный светильник мы и использовали в своих экспериментах. Но несмотря на более высокую их эффективность, светодиодные светильники не нашли сегодня достаточно широкого распространения в тепличных комбинатах России. Причин тому несколько, но основная – отсутствие значительной прибавки урожая. Достаточно быстро стало понятно, что для успешного применения светодиодных источников освещения нужна корректировка всех элементов технологии выращивания, таких как микроклимат, минеральное питание, формирование растений и др. [7,8].

В настоящий момент в открытом доступе отсутствует систематизированная исследовательская база, на основе которой можно построить аргументированные предположения о связи урожайности с использованием различного типа систем освещения.

Применение светодиодных светильников не исключает использование традиционных натриевых ламп [8]. Однако, прямое внедрение светодиодных источников света взамен натриевых не имеет перспектив. В первую очередь, это касается продуктивности растений. Мы считаем, что прежде, чем активно внедрять непосредственно светодиодные источники освещения растений, следует изучить гибридную систему освещения, в которой используется сочетание традиционных натриевых и светодиодных источников облучения. С этой целью на базе одного из тепличных комбинатов мы провели экспериментальное фенологическое исследование по теме «Влияние типа освещения на продуктивность выращивания культуры томата F₁ Боунтис DR в продленном обороте защищенного грунта». Наша задача заключалась в том, чтобы установить соотношения урожайности, а также других биологических показателей культур, выращиваемых в защищенном грунте, с выбором определенной системы освещения.

Материал и методика

В данном эксперименте речь идет только о верхнем освещении без применения внутриценозного освещения. Для проведения исследования выбраны идентичные по микроклимату и технологии выращивания культуры томата две экспериментальные площадки, равные по площади, но с разными системами освещения (Рис.1,2), и отделенные друг от друга на один пролет:

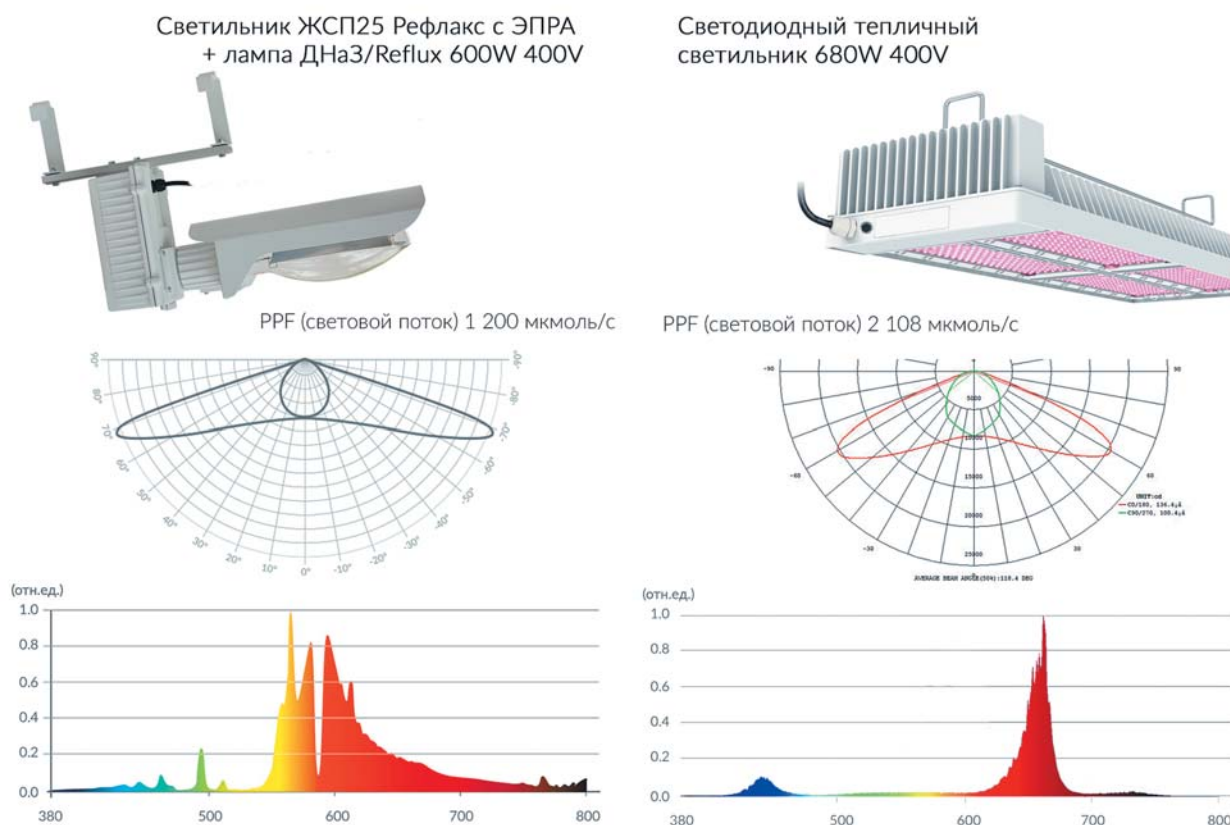


Fig. 1. Plant irradiation sources used during the experiment.



Рис. 2. «Натриевая» и «гибридная» экспериментальные площадки
Fig. 2. "Sodium" and "hybrid" experimental sites

1. Площадка с традиционной натриевой системой освещения с использованием 100 % светильников ЖСП25 Рефлекс с электронным пускорегулирующим аппаратом (ЭПРА) в комплекте зеркальными лампами ДНаЗ/Reflux Ag 600/400 («натриевая площадка»).

2. Площадка с гибридной системой освещения, где каждый второй натриевый светильник ЖСП25 Рефлекс с ЭПРА с зеркальными лампами ДНаЗ/Reflux Ag 600/400 заменяется на LED Grow Light. Светильники располагаются в шахматном порядке что в итоге дает соотношение HPS и LED 50/50 («гибридная площадка»).

Площадь учетной делянки составила 326 м². Установленная мощность 200 Вт/м². Для фенологических наблюдений и учёта урожая в центре натриевой и гибридной экспериментальных площадок были выделе-

ны учетные участки (2-ой, 3-ий и 4-ый ряды полусекции), с одинаковым количеством растений. Эксперимент был начат 11 октября 2022 года.

Измерения проводили многоцелевым мини-спектрометром PG 200N фирмы UPRtek (Тайвань) в более широком диапазоне, раскладывая излучение по спектральным характеристикам на диапазоны: 400-500 нм, 500-600 нм, 600-700 нм (в области ФАР), а также 700-800 нм (дальнее красное излучение) [1, 9].

Результаты исследований и их обсуждение

В результате под натриевыми лампами суммарная освещенность в области ФАР (400-700 нм) составила 344,4 мкмоль/(м²·с), а под гибридной системой облучения растений – 480,3 мкмоль/(м²·с), что выше на 40% (табл. 1). При использовании гибридной системы облу-

Таблица 1. Результаты измерений уровня облученности растений при использовании натриевых и гибридных систем облучения (2022-2023 годы)
Table 1. Results of measurements of the level of plant irradiation using sodium and hybrid irradiation systems (2022-2023)

Системы освещения	Излучение в области ФАР (400-700 нм)								Дальнее красное излучение		Суммарная облученность PPFD	
	суммарное		400-500 нм		500-600 нм		600-700 нм		700-800 нм			
	Мкмоль/ (м ² ·с)	%	Мкмоль/ (м ² ·с)	%	Мкмоль/ (м ² ·с)	%	Мкмоль/ (м ² ·с)	%	Мкмоль/ (м ² ·с)	%	Мкмоль/ (м ² ·с)	%
Натриевое ДНаЗ 100% (St)	344,4	87,5	12,7	3,2	156,9	39,9	174,8	44,4	49,0	12,5	393,4	100
Гибридное ДНаЗ+LED	480,3	92,5	30,7	5,9	83,8	16,1	365,8	70,5	38,8	7,5	519,1	100
ДНаЗ (50%)	162,1	86,3	6,2	3,3	66,4	35,3	89,5	47,6	25,8	13,8	187,9	100
LED (50%)	343,6	95,9	31,5	8,8	20,1	5,6	292,0	81,5	14,5	4,1	358,1	100

чения только за счет светодиодных светильников было получено 343,61 мкмоль/(м²с) освещенности. Это сравнимо с общим уровнем облученности под натрием (344,4 мкмоль/(м²с)).

Суммарная освещенность в диапазоне 400-800 нм (с учетом дальнего красного излучения) под натриевыми лампами составила 393,4 мкмоль/(м²с), а под гибридной системой облучения растений – 519,1 мкмоль/(м²с), что выше на 32% (табл.1).

По спектральному составу более 70% (365,8 мкмоль/(м²с) представлено в красном диапазоне с длиной волны 600-700нм при использовании гибридной системы облучения, а при использовании натриевого света – только 44% или 174,8 мкмоль/(м²с) (табл.1). А по дальнему красному свету с длиной волны 700-800нм натриевые лампы превосходят гибридную систему облучения почти вдвое.

Таким образом, при использовании гибридной системы суммарная освещенность в области ФАР повышается на 40% по сравнению с натриевой системой освещения, и следовало бы ожидать, что и урожайность культуры томата изменится таким же образом. Однако, несмотря на то что показатели горизонтальной облученности в мкмоль/(м²с) при использовании гибридной установки на 40% превысили установки на базе зеркальных натриевых ламп, прибавки урожая на 40% при этом не наблюдается. Это говорит о том, что важен не просто свет как таковой, важно правильно оценивать его продуктивность и спектральный состав [7]. Проблема оценки освещенности с учетом реального взаимодействия света с растением существует, и ее надо решать. Непосредственно в ходе процесса фотосинтеза используется лишь 1-3% поглощенной солнеч-

ной энергии (ФАР), а теоретически возможный – 5-6% [10,11,12]. Остальная поглощенная энергия (95-98%) расходуется в основном на транспирацию [13]. Так, по данным А. А. Ничипоровича, коэффициент использования ФАР томатными растениями в расчете на общий урожай составил 1,06% [12]. Таким образом, простое попадание большого количества света на растение не всегда приводит к такому же повышению урожайности. У тепличных растений с высоким листовым индексом многие листья находятся в условиях недостаточного освещения из-за взаимного затенения. Однако, чем больше урожайность, при прочих равных условиях, тем более оптимальна деятельность агрофитоценоза [14,15].

Мы проверили реакцию томатного растения гибрида F1 Боунтис при выращивании в условиях натриевой и гибридной систем облучения. Эксперимент длился 98 суток, т.е. в самые темные зимние месяцы года. На начало проведения эксперимента (11.10.2022) длина главного стебля была практически одинакова и составила 405 и 410 см. А за весь период проведения эксперимента прирост длины главного стебля при использовании натриевой системы освещения составил 427 см, что на 63 см (или 15%) больше, чем при использовании гибридной системы освещения – 364 см (табл.2). Среднесуточный прирост главного стебля составил 4,4 см при использовании натриевой системы освещения и 3,7 см при использовании гибридного освещения. Это можно объяснить большей облученностью, полученной при использовании гибридного освещения. А в случае более интенсивного света рост стеблей уменьшается, что доказывает задерживающее влияние света на рост растений [13]. Кроме того, при использовании

Таблица 2. Рост и развитие растений у гибрида томата F₁ Боунтис при использовании натриевых и гибридных систем освещения (2022-2023 годы)
Table 2. Plant growth and development in the tomato hybrid F₁ Bountis using sodium and hybrid lighting systems (2022-2023)

Системы освещения	Даты проведения измерений	Главный стебель		Количество листьев		Средняя длина листа, см	Площадь листьев 1 растения, дм ²	ИЛП
		длина, см	прирост в сутки, см	всего, шт.	рабочие, шт.			
Натриевое: ДНаЗ 100%	11.10.2022	405	-	40	13	39	69,73	2,44
	02.11.2022	501	4,2	53	17	37	81,79	2,86
	07.12.2022	652	2,9	71	18	36	81,81	2,86
	17.01.2023	832	4,4	88	19	32	67,65	2,37
Результаты	98 дней	427	4,4	88	17	36	75,25	2,63
Гибридное: ДНаЗ+LED	11.10.2022	410	-	42	16	40	90,46	3,17
	02.11.2022	483	3,2	61	19	37	91,71	3,21
	07.12.2022	609	3,6	68	18	35	77,17	2,70
	17.01.2023	774	4,0	86	20	30	62,08	2,17
Результаты	98 дней	364	3,7	86	18	35	80,36	2,81

гибридного освещения на растениях сформировалось на два листа меньше (86 шт.), чем при использовании натриевого освещения (88 шт.), а средняя длина листа меньше на 1 см (табл.2).

При этом количество заложившихся соцветий составило соответственно 25,4 и 24,1 шт. Таким образом, при использовании гибридной системы освещения несколько снижаются ростовые процессы, уменьшается средняя длина листа, а, соответственно, площадь листьев и индекс листовой поверхности. Снижение ростовых процессов также приводит к уменьшению количества заложившихся соцветий на 5% в варианте с гибридным освещением.

Всего (за 98 дней)	Натриевая система освещения	Гибридная система освещения
Количество заложившихся соцветий, шт.	25,4	24,1
%	100	95

Лист имеет ограниченный рост и характерное для данного гибрида строение. А толщина листа тесно коррелирует с интенсивностью света, при которой он развивается. Кроме того, установлена положительная корреляция между интенсивностью фотосинтеза и массой единицы площади листа [13]. В нашем эксперименте свет большей интенсивности мы имеем при использовании гибридной системы освещения. Толщина листовой пластинки в этом варианте составляет 0,59 мкм, что на 20% больше, чем при использовании натриевого освещения (табл.3). Благодаря большой поверхности и определенному размещению листьев в пространстве растение может использовать как прямой, так и рассе-

янный свет, падающий под разными углами. В связи с этим большое значение для эффективного использования света имеет архитектура растений, под которой понимают пространственное расположение листьев [13,15].

Таблица 3. Размеры листовой пластины у гибрида томата F₁ Боунтис при использовании натриевых и гибридных систем освещения (2022-2023 годы)
Table 3. Dimensions of the leaf plate of the tomato hybrid F₁ Bountis when using sodium and hybrid lighting systems (2022-2023)

Системы освещения	Средняя длина листа, см	Толщина листовой пластины	
		мкм	%
Натриевое: ДНаЗ 100%	36	0,49	100
Гибридное: ДНаЗ (50%)+LED (50%)	35	0,59	120

Значительное влияние на использование объема теплиц гибридами томата оказывает длина стебля, которая складывается из длин междоузлий [16,17]. Томат относится к растениям со смешанным типом ветвления: моно – и симподиальным. На моноподиальном побеге, с которого начинается свой рост томатное растение, формируется 9-12 листьев и заканчивает его формированием соцветия. Это первое соцветие на растении. Далее рост растения продолжает уже побег первого порядка, формирующийся в пазухе верхнего листа. Это уже симподиальный побег. У индетерминантных гибридов томата рост растений не прекращается в течение всей вегетации, при этом формируются все новые и новые симподиальные побеги [16,17]. На каждом симподиальном побеге формируются в среднем три листа, и он заканчивается соцветием (рис.3).

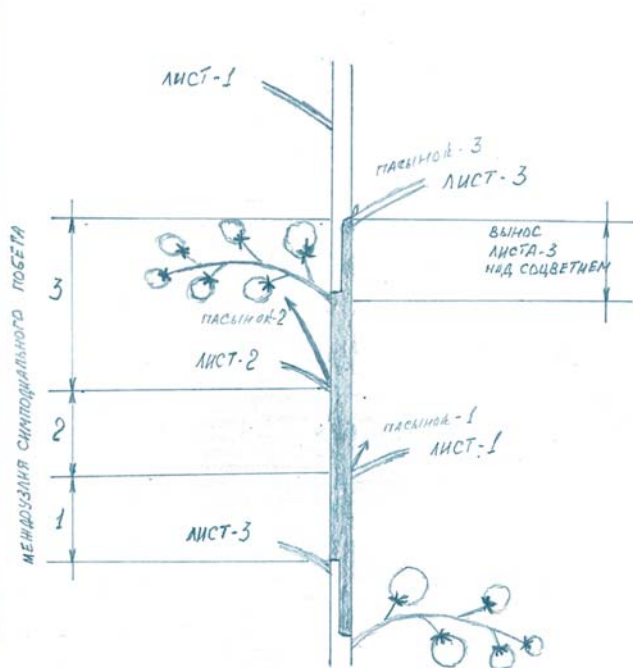


Рис. 3. Строение симподиального побега у гибрида томата
Fig. 3. Structure of a sympodial shoot in a tomato hybrid

Практически у всех индетерминантных гибридов томата длина третьего междоузлия в симподиальном побеге наибольшая. А изменение длины симподиального побега в большей степени связано с увеличением длины именно третьего междоузлия, на котором располагается соцветие (рис.3), и в меньшей степени с изменением длины первых двух междоузлий [16,17]. Мы изучали длину первых 25 симподиальных побегов (рис. 4,5). В связи с тем, что в эксперименте до 15 октября 2022 года в обоих вариантах использовали только натриевое освещение, то различия между вариантами наблюдаются только через 4 недели, т.е. начиная с 8–9-го симподиального побега. Средняя длина симподиальных побегов составила 31,5 см в варианте с использованием натриевого света и 27,5 в варианте с использованием гибридного освещения, что на 13% меньше (рис. 4). Средняя длина третьего междоузлия в симподиальных побегах гибрида томата F₁ Боунтис составила 14,9 см при использовании натриевого освещения и 12,9 см – при использовании гибридного освещения, это

на те же 13% меньше (рис.5). Таким образом, увеличение длины главного стебля у растений томата целиком связано с увеличением длины третьего междоузлия в симподиальных побегах. А мы знаем, что при более интенсивном освещении рост стебля у растений уменьшается [6,13], что связано с задерживающим влиянием света на ростовые процессы.

Кроме того, все факторы внешней среды действуют на растение совместно. Согласно концепции лимитирующих факторов интенсивность фотосинтеза лимитируется тем фактором, который находится в минимуме [13]. К примеру, с увеличением освещенности в культивационном помещении температура воздуха повышается на несколько градусов. В нашем случае оба варианта эксперимента расположены в одной теплице и поддерживать в них разную температуру не представляется возможным. А поскольку светодиодные светильники при работе выделяют меньше тепла, чем натриевые лампы, то в варианте с гибридным освещением в период вегетации температура воздуха

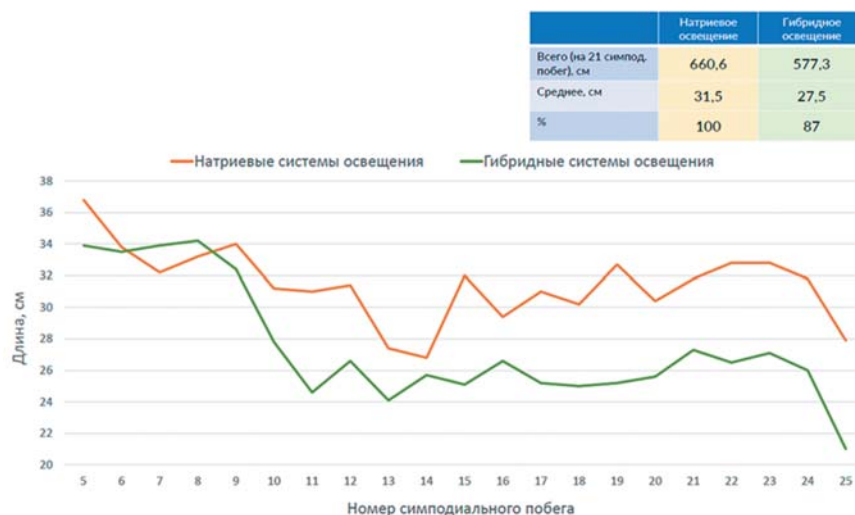


Рис. 4. Длина симподиальных побегов у гибрида томата F₁ Боунтис при использовании натриевых и гибридных систем освещения (2022-2023 годы)

Fig. 4. Length of sympodial shoots in the tomato hybrid F₁ Bountis using sodium and hybrid lighting systems (2022-2023)

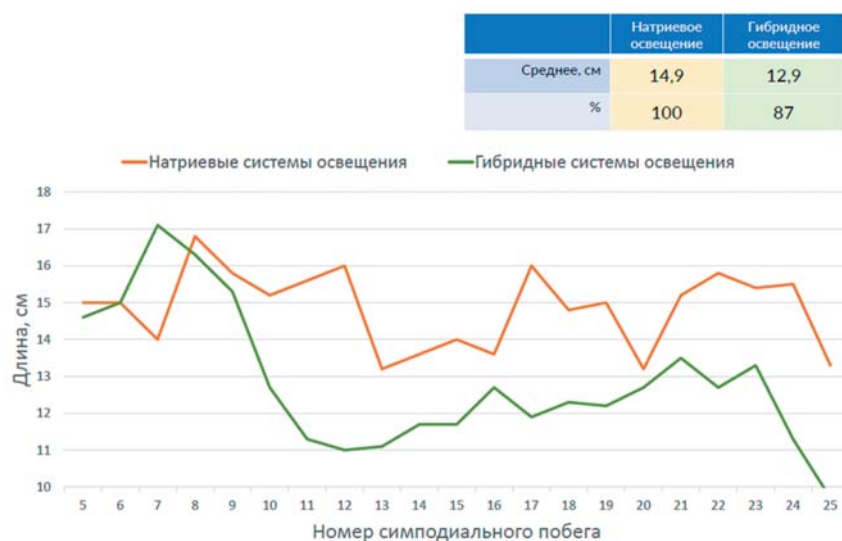


Рис. 5. Средняя длина третьего междоузлия в симподиальных побегах гибрида томата F₁ Боунтис при использовании натриевых и гибридных систем освещения (2022-2023 годы)

Fig. 5. Average length of the third internode in sympodial shoots of the F₁ Bountis tomato hybrid using sodium and hybrid lighting systems (2022-2023)

была в среднем на 1°С ниже. Такое понижение температуры могло отрицательным образом повлиять на ростовые процессы растений томата.

Масса плодов у томата в большей степени влияет на урожайность, чем их количество. В течение всей вегетации (с октября по апрель) мы определяли среднюю массу плодов при каждом сборе урожая. Разница между вариантами наблюдается только через 4 недели, что связано с длительным наливом плодов у томата. И уже начиная с первой декады декабря средняя масса плодов в варианте с использованием гибридной системы освещения выше, чем в варианте с использованием натриевого освещения (рис. 6). Разница по средней массе плодов составляет почти 7 г, или 4,6%. Это совсем не много, учитывая, что освещенность в варианте с использованием гибридного освещения была выше на 32%.

Если средняя масса плодов в варианте с гибридным освещением стабильно была выше на протяжении всей вегетации (рис. 6), то о полученных результатах по дина-

мике урожайности такого сказать нельзя. Урожайность была значительно выше при гибридном освещении только в январе-начале февраля (рис. 7). В целом, за весь период проведения эксперимента урожайность в условиях гибридного освещения выше на 3,0 кг/м² или 5,5% и составила 58,25 кг/м², а при натриевом освещении – 55,22 кг/м². Такое повышение урожайности (на 5,5%) сопоставимо с увеличением средней массы плодов (4,6%).

Анализ качественного состава урожая также не показал значительного преимущества гибридного освещения. Урожайность плодов высшего сорта выше на 5% в условиях натриевого освещения. Урожайность плодов первого сорта было выше на 8% в условиях использования гибридного освещения (табл. 4). Плодов второго сорта собрано на 3% больше при использовании натриевого освещения. В варианте с использованием гибридной системы освещения окраска плодов была ярче, а содержание растворимых сахаров (Брикс) в обоих вариантах составило 4,0 единицы.

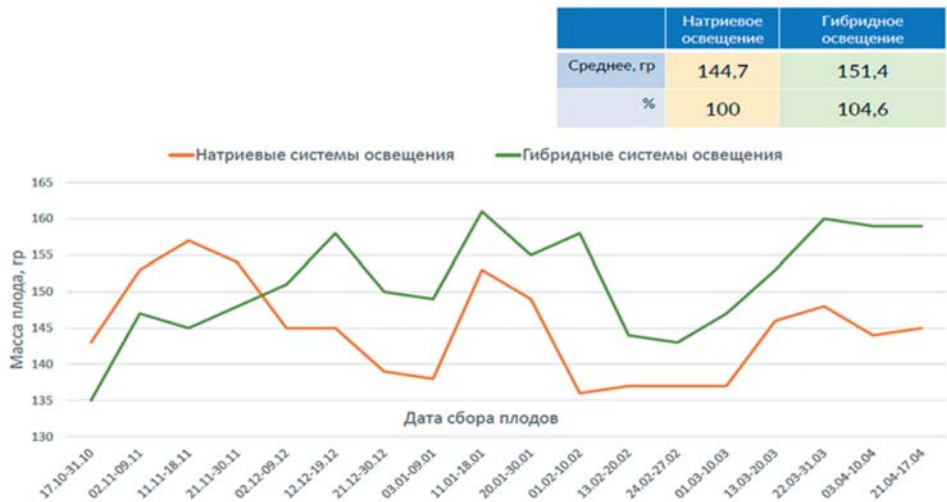


Рис. 6. Динамика изменения массы плода у гибрида томата F₁ Боунтис при использовании натриевых и гибридных систем освещения (2022-2023 годы)
Fig. 6. Dynamics of changes in fruit weight in the F₁ Bountis tomato hybrid using sodium and hybrid lighting systems (2022-2023)

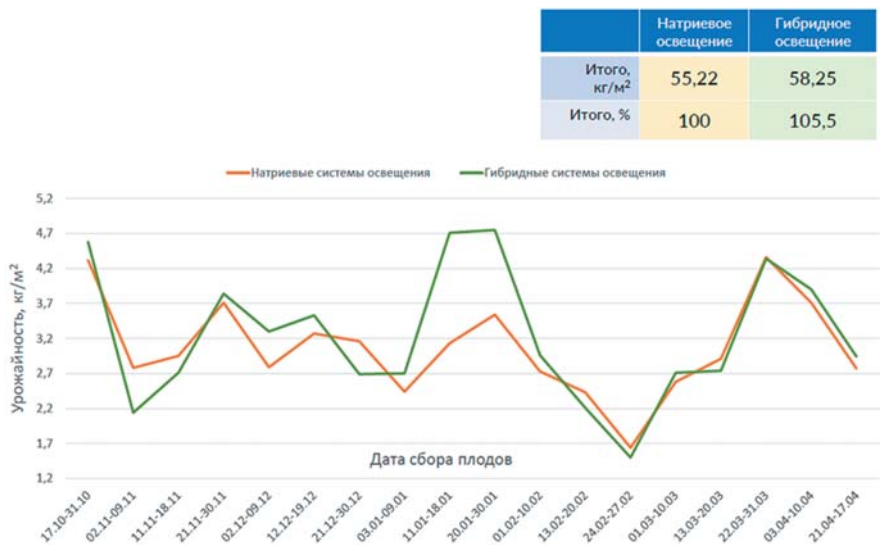


Рис. 7. Динамика урожайности у гибрида томата F₁ Боунтис при использовании натриевых и гибридных систем освещения (2022-2023 годы)
Fig. 7. Yield dynamics of the tomato hybrid F₁ Bountis using sodium and hybrid lighting systems (2022-2023)

Таблица 4. Урожайность с разбивкой по сортам и количество плодов у гибрида томата F₁ Боунтис при использовании натриевых и гибридных систем освещения (2022-2023 годы)

Table 4. Productivity by variety and number of fruits for the F₁ Bountis tomato hybrid using sodium and hybrid lighting systems (2022-2023)

Единица измерения	Натриевая система освещения					Гибридная система освещения				
	всего	в том числе				всего	в том числе			
		высший сорт	1-ый сорт	2-ой сорт	3-ий сорт		высший сорт	1-ый сорт	2-ой сорт	3-ий сорт
Урожайность										
кг/м²	55,22	39,26	12,66	3,00	0,30	58,25	38,20	17,51	1,73	0,31
%	100	71	22	6	1	100	66	30	3	1

Закключение

Таким образом, использование гибридной системы облучения растений увеличивает суммарную освещенность в диапазоне ФАР – на 40% в сравнении с натриевой системой освещения. Однако, полученная прибавка урожая не пропорциональна повышению облученности и составила всего 5,5%. Причины такого положения дел

пока не до конца ясны. Одна из причин, которая нуждается в дополнительной проверке, что показатели горизонтальной облученности, измеренные в мкмоль/(м²с), связаны с урожайностью не напрямую. А другая причина в том, что увеличение освещенности при использовании гибридной системы облучения растений влечет за собой изменение других факторов роста и развития растений, которые не были учтены в нашем эксперименте.

Литература

1. Прикупец Л.Б., Боос Г.В. Облучательные установки в сельском хозяйстве. Москва. 2023. 135 с.
2. Прикупец Л.Б. Светодиоды в тепличном освещении: возможности и реальность. *Светотехника*. 2019;(S):8-12. <https://elibrary.ru/yoxyie>
3. Терехов В.Г. Особенности применения гибридных систем технологического освещения в теплицах. *Теплицы России*. 2023;(2):50-54.
4. Кулешова Т.Э., Удалова О.Р., Балашова И.Т., Аникина Л.М., Конончук П.Ю., Мирская Г.В., Панова Г.Г. Влияние различных источников света на продукционный процесс томата в интенсивной светокультуре. *Овощи России*. 2021;(4):65-70. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-65-70> <https://elibrary.ru/vfpqnc>
5. Мамедалиев Ф. Светодиодные решения Fluence для повышения рентабельности тепличного бизнеса. *Теплицы России*. 2020;(4):42-44.
6. Цыдендамбаев А.Д. Управление выращиванием. *Тепличный практикум*. М., 2020. 321 с.
7. Пчелин В.М., Король В.Г. Продуктивный свет: влияние на урожайность и методика измерений. *Теплицы России*. 2023;(1):10-15.
8. Терехов В.Г., Березин С.Б., Войцеховский Д.В. Новые подходы к автоматизации промышленных теплиц: настоящее и будущее. *Теплицы России*. 2024;(1):38-43.
9. Спектрометр UPRtek PG 200 N. Руководство пользователя. 2022.
10. Насыров Ю.С. Физиолого-генетические основы повышения урожайности сельскохозяйственных культур. *Сельскохозяйственная биология*. 1979;14(6):762-765.
11. Насыров Ю.С. Физиологическая стратегия селекции растений. Селекция продуктивных сортов. М., 1986. С. 31-42.
12. Ничипорович А.А. Задачи по изучению фотосинтетической деятельности растений, как фактора продуктивности. Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. М.: Наука. 1966. С.7-50.
13. Третьяков Н.Н., Кошкин Е.И., Макрушин Н.М. и др. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений. М.: Колос, 2000. 640 с.
14. Шульгин И.А. О световом режиме в теплицах. *Гавриш*. 2001;(5):27-29.
15. Шульгин И.А. Радиационные и физиологические параметры продуктивности агрофитоценозов. М., 2002. 56 с.
16. Король В.Г. Строение симподиального побега у индетерминантных гибридов томата. *Теплицы России*. 2022;(1):16-20.
17. Король В.Г. Рост междоузлий и ветвление побегов у растений томата. *Овощи России*. 2022;(2):15-19. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-2-15-19> <https://elibrary.ru/htwxkk>

References

1. Prikupets L.B., Boos G.V. Irradiation installations in agriculture. Textbook for higher educational institutions. M., 2023. P. 135. (In Russ.)
2. Prikupets L.B. LEDs in greenhouse lighting: possibilities and reality. *Svetotekhnika*. 2019;(S):8-12. <https://elibrary.ru/yoxyie>
3. Terekhov V.G. Features of the use of hybrid technological lighting systems in greenhouses. *Greenhouses of Russia*. 2023;(2):50-54. (In Russ.)
4. Kuleshova T.E., Udalova O.R., Balashova I.T., Anikina L.M., Kononchuk P.Yu., Mirskaya G.V., Panova G.G. Influence of different light sources on the production process of tomato in intensive photoculture. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(4):65-70. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-65-70> <https://elibrary.ru/vfpqnc>
5. Mamedaliev F. Fluence LED solutions for increasing the profitability of the greenhouse business. *Greenhouses of Russia*. 2020;(4):42-44. (In Russ.)
6. Tsydenambaev A.D. Cultivation management. *Greenhouse workshop*. M., 2020. P. 321.
7. Pchelin V.M., Korol V.G. Productive light: influence on yield and measurement methods. *Greenhouses of Russia*. 2023;(1):10-15. (In Russ.)
8. Terekhov V.G., Berezin S.B., Voitsekhovskiy D.V. New approaches to automation of industrial greenhouses: present and future. *Greenhouses of Russia*. 2024;(1):38-43. (In Russ.)
9. Spectrometer UPRtek PG 200 N. User's manual. 2022. (In Russ.)
10. Nasyrov Yu.S. Physiological and genetic basis for increasing crop yields. *Agricultural biology*. 1979;14(6):762-765. (In Russ.)
11. Nasyrov Yu.S. Physiological strategy for plant breeding. Selection of productive varieties. M., 1986. P. 31-42. (In Russ.)
12. Nikiporovich A.A. Tasks for studying the photosynthetic activity of plants as a productivity factor. Photosynthetic systems of high productivity. M.: Science, 1966. P.7-50. (In Russ.)
13. Tretyakov N.N., Koshkin E.I., Makrushin N.M. et al. Physiology and biochemistry of agricultural plants. M.: Kolos, 2000. 640 p. (In Russ.)
14. Shulgin I.A. About the light regime in greenhouses. *Gavrish*. 2001;(5):27-29. (In Russ.)
15. Shulgin I.A. Radiation and physiological parameters of productivity of agrophytocoenoses. M., 2002. 56 p. (In Russ.)
16. Korol V.G. The structure of the sympodial shoot in indeterminate tomato hybrids. *Greenhouses of Russia*. 2022;(1):16-20. (In Russ.)
17. Korol V.G. Growth of internodes and branching of a tomato plant. *Vegetable crops of Russia*. 2022;(2):15-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-2-15-19> <https://elibrary.ru/htwxkk>

Об авторах:

Валентин Григорьевич Король – доктор с.-х. наук, главный специалист по агрономическому сопровождению ООО «Рефлекс», SPIN-код: 8086-3658, автор для переписки, vk@reflux.ru
Владимир Михайлович Пчелин – канд. технических наук, генеральный директор ООО «Рефлекс»

About the Authors:

Valentin G. Korol – Dr. Sci. (Agriculture), Chief Specialist for Agronomic Support of LLC Reflux, SPIN-код: 8086-3658, Correspondence Author, vk@reflux.ru
Vladimir M. Pchelin – Cand. Sci. (Engineering), General Director of LLC Reflux