

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-4-90-95>
УДК: (635.63+635.21):631.54

О.Г. Гиченкова^{1*}, П.С. Маликова¹,
Ю.А. Лаптина²

¹ ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»
400002, Россия, г. Волгоград

² Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»
143026, Россия, Московская область,
г. Одинцово

***Автор для переписки:**

olga.gichenkova@mail.ru,
polina_aleksashenkova@mail.ru,
ylaptina82@mail.ru

Вклад авторов: Гиченкова О.Г.: концептуализация, методология, верификация данных, проведение исследования, написание и редактирование рукописи. Маликова П.С.: концептуализация, методология, верификация данных, проведение исследования, написание и редактирование рукописи. Лаптина Ю.А.: концептуализация, методология, написание и редактирование рукописи, формальный анализ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Гиченкова О.Г., Маликова П.С., Лаптина Ю.А. Значение досвечивания при выращивании привитой рассады огурца и сеянцев картофеля из ботанических семян. *Овощи России*. 2025;(4):90-95.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-4-90-95>

Поступила в редакцию: 05.05.2025

Принята к печати: 11.07.2025

Опубликована: 29.08.2025

Olga G. Gichenkova ^{1*}, Polina S. Malikova ¹,
Yulia A. Laptina ²

¹ Volgograd State Agrarian University
Volgograd, 400002

² Nemchinovka Federal Research Center
Odintsovo, Moscow Region, 143026, Russia

***Corresponding Author:**

olga.gichenkova@mail.ru

Authors' Contribution: Gichenkova O.G.: conceptualization, methodology, data verification, conducting research, writing and editing a manuscript. Malikova P.S.: conceptualization, methodology, data verification, conducting research, writing and editing a manuscript. Laptina Yu.A.: conceptualization, methodology, writing and editing a manuscript, formal analysis.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Gichenkova O.G., Malikova P.S., Laptina Yu.A. The importance of additional illumination in the cultivation of grafted cucumber seedlings and potato seedlings from botanical seeds. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(4):90-95. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-4-90-95>

Received: 05.05.2025

Accepted for publication: 11.07.2025

Published: 29.08.2025

Значение досвечивания при выращивании привитой рассады огурца и сеянцев картофеля из ботанических семян

Check for updates

**РЕЗЮМЕ**

Актуальность. Растения используют свет не только как источник энергии для фотосинтеза, но и как важный регулятор их роста и развития. Характеристики света, такие как интенсивность, спектральный состав, продолжительность освещения, а также особенности светового потока, играют ключевую роль в физиологических процессах растений. Поэтому важно отработать режимы освещения необходимые для роста различных видов растений, чтобы управлять их метаболическими процессами.

Материал и методика. В работе в качестве объектов исследования одновременно изучались привитая рассада огурца Кабеи F₁ на подвое Лagenария и сеянцы картофеля, полученные из ботанических семян, сортов отечественной и зарубежной селекции: Гулливер, Удача, Винета, Беллороза, Риккарда, Индиго. Выращивание двух культур проводилось в условиях светокультуры с длительностью дня 12,14 и 16 ч. Для освещения растений использовали светодиодные лампы с синим (440-445 нм) и красным спектрами (660-665 нм) в следующих соотношениях: 60/40, 50/50 и 40/60. Исследования проводились в трехкратной повторности по 20 учетных растений. Технология выращивания растений в защищенном грунте общепринятая для Волгоградского региона.

Результаты. При оценке влияния биколорного досвечивания привитого огурца наиболее подходящим оказалось соотношение R60B40, оно способствовало активному развитию вегетативной части, а увеличение фотопериода до 14-16 часов предотвращало вытяжение междоузлий на 2,0 см и подсемядольного колена у подвойной части. Превалирование синего спектра негативно сказывалось на привитой рассаде: снижение ростовой активности, сокращение длины междоузлий, а при длине дня в 16 ч – вершкование точки роста. При оценке развития вегетативной части рассады картофеля, полученной из ботанических семян, можно отметить похожую реакцию надземной части как у привитого огурца Кабеи F₁. Однако при оценке урожайности мини-клубней, именно преобладание синего спектра повышало процент урожайности до 26,1% при фотопериоде в 16 ч.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

картофель, ботанические семена, огурец, рассада, прививка, досвечивание, светодиоды, защищенный грунт

The importance of additional illumination in the cultivation of grafted cucumber seedlings and potato seedlings from botanical seeds

ABSTRACT

Relevance. Plants use light not only as an energy source for photosynthesis, but also as an important regulator of their growth and development. The characteristics of light, such as intensity, spectral composition, duration of illumination, as well as the characteristics of the luminous flux, play a key role in the physiological processes of plants. Therefore, it is important to work out the lighting modes necessary for the growth of various plant species in order to control their metabolic processes.

Material and methodology. In the work, grafted seedlings of Kabeiri F₁ cucumber on the rootstock of a Lagenarium and potato seedlings obtained from botanical seeds of domestic and foreign varieties were simultaneously studied as objects of research: Gulliver, Luck, Vineta, Bellorosa, Riccarda, Indigo. The two crops were grown under light culture conditions with a day duration of 12.14 and 16 hours. LED lamps with blue (440-445 nm) and red (660-665 nm) spectra were used to illuminate the plants in the following ratios: 60/40, 50/50 and 40/60. The studies were carried out in three repetitions of 20 registered plants. The technology of growing plants in protected soil is generally accepted for the Volgograd region.

Results. When assessing the effect of bicolor illumination of a grafted cucumber, the R60B40 ratio turned out to be the most suitable, it contributed to the active development of the vegetative part, and an increase in the photoperiod to 14-16 hours prevented the extension of the internodes by 2.0 cm and the subsameral knee at the rootstock. The prevalence of the blue spectrum had a negative effect on the grafted seedlings: a decrease in growth activity, a reduction in the length of the internodes, and with a day length of 16 hours, the tip of the growth point. When assessing the development of the vegetative part of potato seedlings obtained from botanical seeds, it is possible to note a similar reaction of the tops as in the grafted Kabeiri F₁ cucumber. However, when assessing the yield of mini tubers, it was the predominance of the blue spectrum that increased the yield percentage to 26.1% with a photoperiod of 16 hours.

KEYWORDS:

potato, botanical seeds, cucumber, seedlings, grafting, additional illumination, LEDs, protected soil

Введение

Растения используют свет как основной источник энергии для фотосинтеза, а также как важный сигнал, инициирующий фотоморфогенез и ряд физиологических процессов [9]. Интенсивность, спектральный состав, длительность освещения (фотопериод), а также геометрия светового потока (степень коллимированности или рассеянности) и угол его падения – все эти характеристики света оказывают влияние на процессы роста и развития растительных организмов [2;4].

Светодиодное освещение является лучшим источником дополнительного досвечивания в защищенном грунте [1;5;6;12]. Тремя наиболее основными параметрами, влияющими на рост и продуктивность растений, является качество света, интенсивность и фотопериод [3;7;11;15;17]. Существующие в растениях фоторецепторы и пигменты, чувствительны к излучению только определенных длин волн [13;16;20]. Известно, что красный (600-700 нм) и синий (400-500 нм) спектры света наиболее эффективны для процесса фотосинтеза, чем другие [8]. Еще в 70-е годы Маккри доказал общность фотосинтетического аппарата у всех зеленых растений, которая заключалась в том, что основные максимумы поглощения располагаются в красной и синей областях, а минимальная – в желто-зеленой [10;19].

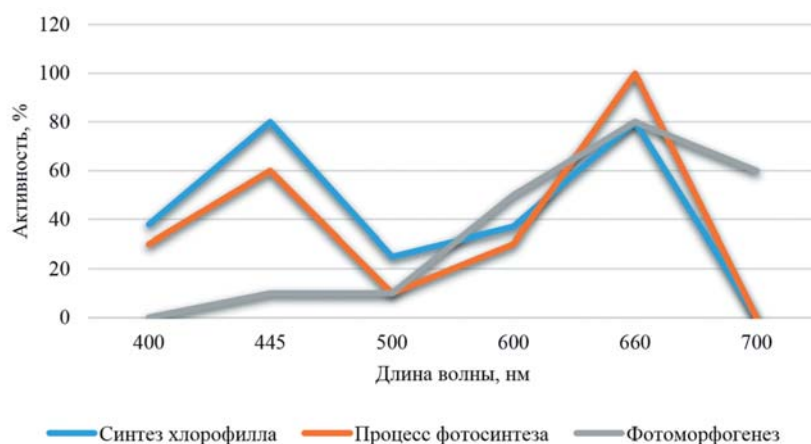


Рис. 1. Активность процессов синтеза хлорофилла, фотосинтеза и фотоморфогенеза
Fig. 1. Activity of the processes of chlorophyll synthesis, photosynthesis and photomorphogenesis

Согласно графику, все основные физико-химические процессы жизнедеятельности зеленого растения (синтез хлорофилла, фотосинтез, фотоморфогенез) протекают в области спектров, соответствующих значениям 440-445 нм и 600-660 нм [14;18]. Однако до сих пор не хватает подробной информации об условиях освещения, необходимого для оптимального роста различных видов растений, а также о влиянии интенсивности освещения и спектрального состава на метаболизм. По этой причине отработка режима досвечивания рассады биколорными лампами с красным (660-665 нм) и синим (440-445 нм) спектрами является важ-

нейшим элементом, влияющими на рост и продуктивность растений в условиях защищенного грунта.

Поэтому цель исследования – установить параметры и уровни освещения при выращивании рассады овощных культур на примере привитого огурца и картофеля с генеративным размножением за счет создания оптимального соотношения спектров и регулирования суточного досвечивания.

Задачи исследования:

1. Определить оптимальный режим освещения дихроматическими светодиодными лампами привитого огурца в рассадный период до его размещения на основное место выращивания;

2. Отработать режим освещения биколорными светодиодными лампами сеянцев картофеля, полученных из ботанических семян.

Материал и методика. В работе в качестве объектов исследования одновременно изучались привитая рассада огурца Кабеири F₁ на подвое Лагенария и сеянцы картофеля, полученные из ботанических семян, перспективных сортов отечественной и зарубежной селекции, относящихся к разным группам спелости: Гулливер, Удача, Винета, Беллороза, – ранние, Риккарда, Индиго – среднеспелые.

Рассаду партенокарпического огурца Кабеири F₁ прививали на тыкву Лагенарию. Процесс заживления проводился в специализированной камере с постоянным поддержанием микроклимата. На 8-й день со дня проведения хирургического процесса привитую рассаду размещали для адаптации и доращивания в круглогодичной теплице с дополнительным освещением. На 35-й день со дня посева привоя в фазе 4-х настоящих листьев проводились измерения общей высоты и междоузлий.

Посев ботанических семян картофеля проводили в пластиковые контейнеры 60х17х13 (объем 13,5 л) с нормой высева семян 0,1-0,2 г. Пикировка растений не проводилась. Всхожесть семян составляла 95-98%. Среднее количество дней вегетации 90-100 дней.

Исследования проводились в трехкратной повторности по 20 учетных растений. В рамках каждого оборота проводили биометрические и фенологические наблюдения. По каждому сорту в период уборки урожая проводили сортировку и подсчет мини-клубней у картофеля. Технология выращивания растений в защищенном грунте общепринятая для Волгоградского региона.

Выращивание двух культур проводилось в условиях светокультуры с длительностью дня 12, 14 и 16 часов с поддержанием следующего температурного режима: ночь – 18°C, день – 20°C. Для освещения растений использовали светодиодные лампы с синим (440-445 нм) и красным спектрами (660-665 нм) в следующих соотношениях: 60/40, 50/50 и 40/60.

Таблица 1. Схема опыта
Table 1. Scheme of experience

Фактор А	R ₆₀ B ₄₀			R ₅₀ B ₅₀			R ₄₀ B ₆₀		
Фактор В	12ч	14ч	16ч	12ч	14ч	16ч	12ч	14ч	16ч



Рис. 2. ТКА-Спектр Спектрорадиометр
Fig. 2. TKA-Spectrum Spectroradiometer

Результаты и их обсуждение

На 35 сутки выращивания со дня посева огурца провели измерения общей высоты стебля привитого Кабеири F1 и длины междоузлий между 1-2, 2-3, 3-4 настоящими листьями.

Биколорное освещение в соотношении R60B40 способствовало более активному росту вегетативной части привитого огурца, высота растений была выше остальных образцов по средним данным на 4,67-1,96 см. При этом повышение интеграла дневного освещения на единицу на всех вариантах уменьшало длину стебля, в среднем, на 2,0 см и предотвращало вытяжение подсемядольного колена у подвойной части.

Увеличивая концентрацию синего спектра до 60%, отмечалось снижение ростовой активности вегетативной части растений, особенно при удлинении светового режима до 16 ч, высота растений была на уровне 13 см.

Таблица 2. Влияние различных режимов освещения на линейный рост привитого огурца на 35 день, см
Table 2. The effect of different lighting modes on the vegetative development of a grafted cucumber on day 35, cm

Фактор А (доля красного и синего спектра)	Фактор В (продолжительность дня), часов	Высота растений, см			Среднее
		повторность			
		1	2	3	
R ₆₀ B ₄₀	12	21,6	22,1	21,8	21,83
	14	18,8	19,2	18,9	18,96
	16	16,9	17,4	17,8	17,36
R ₅₀ B ₅₀	12	18,6	19,1	18,9	18,86
	14	16,7	17,2	16,9	16,93
	16	15,4	15,1	15,7	15,4
R ₄₀ B ₆₀	12	17,5	17,1	16,9	17,16
	14	15,6	15,1	14,8	15,16
	16	13,6	13,3	13,0	13,3
НСП ₀₅ А	0,32				
НСП ₀₅ В	0,32				
НСП ₀₅ АВ	0,32				

Лампы располагались на высоте 40 см от кассет и контейнеров. Для определения светового потока (PPFD) в диапазоне фотосинтетически активной радиации (ФАР) был использован спектрорадиометр «ТКА-Спектр».

Фотосинтетическая плотность потока фотонов составила 145 мкмоль/м²/с1. Затем определяли суммарную радиацию, получаемую растениями в течении 12, 14 и 16 часов освещения (интеграл дневного освещения) по формуле:

$$\text{ИДО} = (\text{PPFD} \times 43\ 200\text{с}; 50\ 400\text{с}; 57\ 600\text{с}) / 1\ 000\ 000,$$

где 43 200с – 12ч; 50 400с – 14ч; 57 600 с – 16 ч;

1 моль – 1000 000 мкмоль.

- ИДО 12 ч = $(145 \text{ мкмоль/м}^2/\text{с}1 \times 43\ 200) / 1\ 000\ 000 = 6,3 \text{ моль/м}^2/\text{день};$
- ИДО 14 ч = $(145 \text{ мкмоль/м}^2/\text{с}1 \times 50\ 400) / 1\ 000\ 000 = 7,3 \text{ моль/м}^2/\text{день};$
- ИДО 16 ч = $(145 \text{ мкмоль/м}^2/\text{с}1 \times 57\ 600) / 1\ 000\ 000 = 8,3 \text{ моль/м}^2/\text{день}.$

Первая часть растений освещалась 12ч, вторая – 14ч, третья – 16ч. Затем проводился мониторинг развития вегетативной части растений и процесса клубнеобразования в зависимости от режима досвечивания.

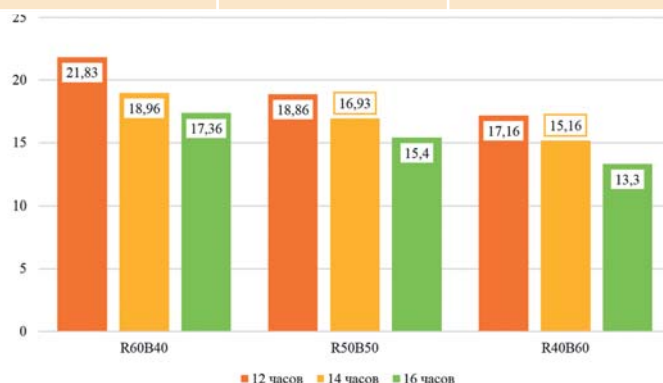


Рис.3. Влияние режимов освещения на рост вегетативной части на 35 день, см
Fig.3. The effect of lighting modes on the growth of the vegetative part on day 35, cm

При оценке развития междоузлий между 1 и 2, 2 и 3, 3 и 4 настоящими листьями на 35 день выращивания привитого Кабеири F₁ при освещении R40B60 с максимальным количеством часов фотопериода наблюдалось сдерживание ростового процесса и впоследствии вершкование точки роста, средняя длина междоузлий составила 1,53 см.

Наиболее активное развитие междоузлий отмечалось на растениях, освещаемых R₆₀B₄₀ с фотопериодом 12 ч и 14 ч

Таблица 3. Влияние различных режимов освещения на вытяжение междоузлий у привитого огурца на 35 день, см
Table 3. The effect of different lighting modes on the development of internodes in a grafted cucumber on day 35, cm

Фактор А	Фактор В	1-2 листа			2-3 листа			3-4 листа		
		повторность			повторность			повторность		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
R ₆₀ B ₄₀	12 ч	3,7	3,9	3,8	3,6	4,0	3,7	3,8	3,9	3,6
	14 ч	3,0	3,2	2,9	3,1	3,4	2,7	3,2	3,3	2,8
	16 ч	2,5	2,7	2,7	2,6	2,9	2,8	2,4	2,6	2,5
R ₅₀ B ₅₀	12 ч	2,7	3,1	2,8	2,8	3,2	2,9	2,9	3,4	2,7
	14 ч	2,3	2,4	2,5	2,5	2,3	2,7	2,4	2,6	2,8
	16 ч	2,0	1,6	2,1	2,1	1,7	2,0	1,9	1,8	2,2
R ₄₀ B ₆₀	12 ч	2,1	2,4	2,2	2,5	2,6	2,7	2,3	2,4	2,5
	14 ч	2,0	1,6	1,8	2,1	1,7	1,7	1,9	1,8	1,9
	16 ч	1,4	1,3	1,2	1,5	1,4	1,4	1,4	2,1	1,1
HCP ₀₅ A		0,17			0,22			0,24		
HCP ₀₅ B		0,17			0,22			0,24		
HCP ₀₅ AB		0,17			0,22			0,24		

– 3,03-3,76 см. При суммарной радиации 8,3 моль/м²/день (16 ч) привитой огурец формировался более компактно, чем другие варианты с подобным соотношением красного и синего спектров.

Сочетание красного и синего спектров 50/50 показал средние результаты: междоузлия были меньше на 0,6-1 см чем у варианта R₆₀B₄₀ с различными фотопериодами, но длиннее на 0,6-1 см чем у образцов R₄₀B₆₀.

Анализируя прирост надземной части при освещении R₆₀B₄₀ у картофеля, полученного из ботанических семян, можно отметить, что на данном варианте у растений также этот вид соотношения красного и синего спектров способствовал активному формированию вегетативной части. При удлинении фотопериода до 16 ч ботва становилась более компактной, чем при 12 ч освещения, в среднем, на 1,45-1,68 см.

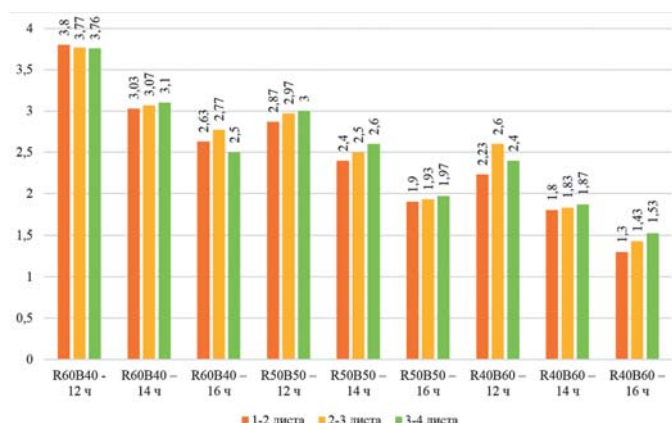


Рис. 4. Средняя длина междоузлий у привитого огурца в зависимости от режима освещения, см

Fig. 4. The average internode length of a grafted cucumber, depending on the lighting mode, cm

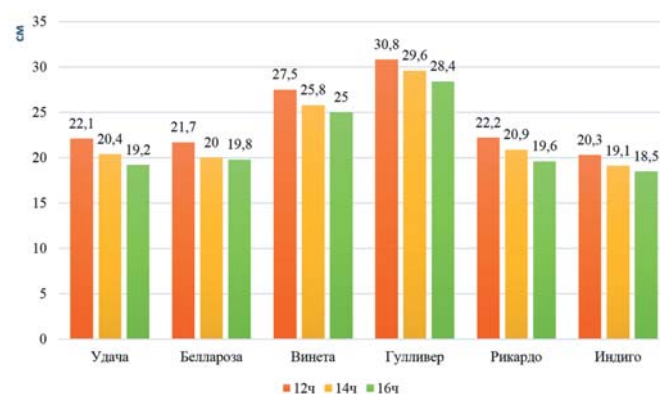


Рис. 6. Влияние режима освещения R₅₀B₅₀ на линейный рост ботвы картофеля, см

Fig. 6. The effect of the R₅₀B₅₀ lighting mode on the linear growth of potato tops, cm

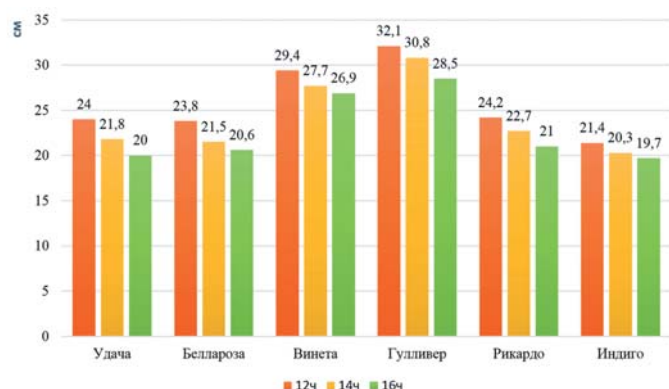


Рис. 5. Влияние режима освещения R₆₀B₄₀ на линейный рост ботвы, см

Fig. 5. The effect of the R₆₀B₄₀ lighting mode on the linear growth of the tops, cm

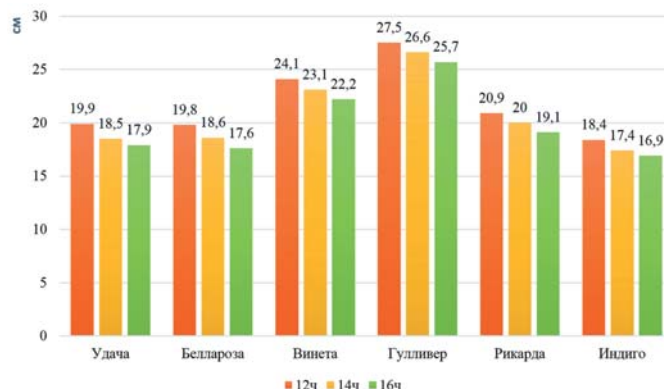


Рис. 7. Влияние режима освещения R₄₀B₆₀ на линейный рост картофеля, см

Fig. 7. The effect of the R₄₀B₆₀ lighting mode on the linear growth of potato tops, cm

При освещении R₅₀B₅₀ вегетативная часть растений развивалась менее активно и была меньше по средним данным на 1,3-1,9 см предыдущего варианта. Увеличивая длину дня с 12 ч до 14 ч, прирост ингибировался ещё на 1,46 см, с 14 ч до 16 ч – еще на 0,88 см.

Освещая растения картофеля, полученные из ботанических семян, с преобладающим синим спектром, развитие надземной части сводилось к минимуму. Полученные результаты были меньше двух других вариантов. Так, анализируя прирост самого низкорослого сорта Индиго, при освещении R₄₀B₆₀ с фотопериодом 16 ч, линейный рост ботвы достиг минимальных показателей в 16,9 см, что на 1,6 см меньше R₅₀B₅₀ с той же длиной дня и на 2,8 см R₆₀B₄₀.

Затем, изучалось воздействие различных режимов освещения на урожайность рассады картофеля, полученной из ботанических семян.

При учете урожайности наблюдалась положительная корреляция между увеличением концентрации синего спектра в биколорном освещении и повышением урожайности: B₅₀ дало прибавку, в среднем, на 16,6% от B₄₀, а B₆₀ еще на 9,5% от B₅₀. Вариант R₄₀B₆₀ с длиной дня в 16 ч способствовал формированию наибольшего числа мини-клубней у картофеля, несмотря на ингибирующий эффект на его вегетативную часть.

Наиболее продуктивным оказался сорт Винета, с одного растения которого было получено наибольшее количество мини-клубней, особенно при режимах освещения R₅₀B₅₀ и R₄₀B₆₀ с фотопериодом 16 ч – 3,5 шт с одного растения.

Заключение

Адаптационный период у привитого огурца после камеры заживления – один из ответственных периодов, где важно

Таблица 4. Влияние различных режимов освещения на урожайность мини-клубней с одного растения, шт.
Table 4. The effect of different lighting modes on the yield of mini tubers per plant, pcs

Фактор А	Фактор С	Фактор В											
		I			II			III					
	Сорт	12ч	14ч	16ч	12ч	14ч	16ч	12ч	14ч	16ч	12ч	14ч	16ч
R ₆₀ B ₄₀	Удача	1,8	1,9	2,1	1,7	2,1	2,3	2,0	2,3	2,4	1,8	2,1	2,3
	Беллароза	1,6	1,9	2,3	1,9	2,2	2,1	1,8	2,0	2,0	1,8	2,0	2,1
	Винета	2,3	2,9	3,1	2,5	2,8	3,0	2,4	2,7	3,2	2,4	2,8	3,1
	Гулливвер	1,8	2,1	2,4	1,9	2,0	2,3	1,7	2,1	2,2	1,8	2,0	2,3
	Рикарда	1,0	1,4	1,6	1,2	1,3	1,5	1,0	1,3	1,4	1,0	1,3	1,5
	Индиго	1,6	1,6	1,7	1,5	1,8	1,9	1,5	1,6	1,8	1,5	1,7	1,8
R ₅₀ B ₅₀	Удача	2,0	2,3	2,4	2,1	2,4	2,7	2,2	2,5	2,8	2,1	2,4	2,6
	Беллароза	1,8	2,4	2,8	2,2	2,0	2,5	2,1	2,3	2,7	2,0	2,2	2,7
	Винета	2,7	3,2	3,7	3,1	3,3	3,5	2,6	3,0	3,4	2,8	3,2	3,5
	Гулливвер	2,2	2,4	2,8	2,0	2,1	2,4	2,3	2,4	2,5	2,2	2,3	2,6
	Рикарда	1,3	1,6	1,8	1,4	1,8	2,1	1,5	1,7	2,0	1,4	1,7	2,0
	Индиго	1,9	1,7	2,0	1,8	2,1	2,2	1,7	1,9	2,3	1,8	1,9	2,2
R ₄₀ B ₆₀	Удача	2,3	2,5	2,7	2,2	2,6	2,9	2,4	2,7	3,0	2,3	2,6	2,9
	Беллароза	2,1	2,6	3,1	2,3	2,4	2,7	2,2	2,3	2,5	2,2	2,4	2,8
	Винета	3,0	3,4	3,7	3,1	3,3	3,5	2,8	3,2	3,4	3,0	3,3	3,5
	Гулливвер	2,6	2,9	3,1	2,4	2,6	2,8	2,5	2,7	2,9	2,5	2,7	2,9
	Рикарда	1,7	1,9	2,1	1,8	2,0	2,2	1,6	2,1	2,3	1,7	2,0	2,2
	Индиго	2,0	2,2	2,4	2,1	2,3	2,5	2,2	2,5	2,6	2,1	2,3	2,5

HCP₀₅ A - 0,06; HCP₀₅ B - 0,06; HCP₀₅ C - 0,08; HCP₀₅ AB - 0,14; HCP₀₅ AC - 0,14;
HCP₀₅ BC - 0,10; HCP₀₅ ABC - 0,06

создать оптимальные условия для роста и развития растения после хирургического вмешательства. Один из наиболее важных аспектов – освещение. При оценке влияния биколорного досвечивания (красный и синий спектры с длиной волны 660-665 нм и 440-445 нм) наиболее подходящим оказалось соотношение R60B40 чем другие варианты, так как именно это сочетание способствовало активному развитию вегетативной части, а увеличение фотопериода до 14-16 часов предотвращало вытяжение междоузлий на 2,0 см и подсемядольного колена у подвойной части.

Превалирование синего спектра негативно сказывалось на привитой рассаде: снижение ростовой активности, сокращение длины междоузлий, а при длине дня в 16 ч – вершкование точки роста.

При оценке развития вегетативной части рассады картофеля, полученной из ботанических семян, можно отметить похожую реакцию побегов как у привитого огурца Кабеири F₁. Однако при оценке урожайности мини-клубней, именно преобладание синего спектра повышало процент урожайности до 26,1% при фотопериоде в 16 ч.

• Литература

1. Bourget C.M. An introduction to light-emitting diodes. *HortScience*. 2008;(43):1944–1946.
2. Chen M., Chory J., Fankhauser C. Light signal transduction in higher plants. *Annu Rev Genet*. 2004;(38):87–117.
3. Fankhauser C., Chory J. Light control of plant development. *Annu Rev Cell Dev Biol*. 1997;(13):203–229.
4. Folta K.M., Childers K.S. Light as a growth regulator: Controlling plant biology with narrowbandwidth solid-state lighting systems. *HortScience*. 2008;(43):1957–1964. <https://www.doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1957>
5. Gupta D.S., Jatohu B. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis. *Plant Biotechnol Rep*. 2013;(7):211–220. <https://www.doi.org/10.1007/s11816-013-0277-0>
6. Gupta S., Agarwal A. Artificial lighting system for plant growth and development: chronological advancement, working principles, and comparative assessment. In: Dutta Gupta S. (ed), *Light emitting diodes for agriculture*, Springer, Singapore, 2017. 1–26. https://www.doi.org/10.1007/978-981-10-5807-3_1
7. Jing X, Gong B, Wang H, Wei M, Shi QH, Liu SQ, Ai XZ, Li Y. Secondary and sucrose metabolism regulated by different light quality combinations involved in melon tolerance to powdery mildew. *Plant Physiol Biochem*. 2018;(124):77–87. <https://www.doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.12.039>
8. Kozai T., Niu G., Takagaki M. (eds). *Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production*. Academic, London, 2015. pp. 423.
9. Liu XY, Jiao X.L., Chang T.T., Guo S.R., Xu Z.G. Photosynthesis and leaf development of cherry tomato seedlings under different LED-based blue and red photon flux ratios. *Photosynthetica*. 2018;56(4):1212–7. <https://doi.org/10.1007/s11099-018-0814-8>
10. McCree K.J. The Action Spectrum, Absorptance and Quantum Yield of Photosynthesis in Crop Plants. *Agric. Meteorol*. 1971;(9):191–216.
11. Neff M.M., Fankhauser C., Chory J. Light: an indicator of time and place. *Genes Dev*. 2000;14(3):257–71.
12. Nelson J.A., Bugbee B. Economic analysis of greenhouse lighting: light emitting diodes vs. high intensity discharge fixtures. *PLoS One*. 2014;(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099010>
13. Spalding E. P., Folta K. M. Illuminating topics in plant photobiology. *Plant, Cell and Environment*. 2005;28(1):39–53. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01282.x>
14. Evseenkov A.S., Tarasov S.A., Lamkin I.A., Solomonov A.V., Kurin S.Y. The efficiency of UV LEDs based on GaN/AlGaIn heterostructures. *Proc. Of the IEEE North West Russia Section Young Researchers in*

Electrical and Electronic Engineering Conf., St Petersburg, Russia, 02–04 Feb. 2015. IEEE, 2015. P. 27–29.

<https://doi.org/10.1109/EIConRusNW.2015.7102224>;

15. Whitelam G., Halliday K. *Light and plant development*. Oxford: Blackwell Publishing. 2007.

16. Войцеховская О.В. Фитохромы и другие (фото)рецепторы информации у растений. *Физиология растений*. 2019;66(3):163–177.

<https://doi.org/10.1134/S0015330319030151> <https://elibrary.ru/zbqgqxx>

17. Маликова П.С., Гиченкова О.Г., Лаптина Ю.А. Значение световых спектров при производстве привитой рассады огурца. *Орошаемое земледелие*. 2024;1(44):27–31. <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2024-1-4>

18. Губина А.А., Левин Е.В., Романович М.М. и др. Определение оптимального спектрального состава излучения светодиодной фитолампы для стимуляции развития семян моркови и томата. *Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника*. 2022;25(3):62–72. <https://doi.org/10.32603/1993-8985-2022-25-3-62-72>

<https://elibrary.ru/uoygsc>

19. Тихомиров А.А., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я. Спектральный состав света и продуктивность растений. 1991. С. 22–28.

20. Фрайклин Г.Я. Белковые сенсоры света: фотовозбужденные состояния, сигнальные свойства и применение в оптогенетике. 2018. С. 5–7.

• References

16. Wojciechowska O.V. Phytochromes and other (photo)information receptors in plants. *Plant Physiology*. 2019;66(3):163–177. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0015330319030151> <https://elibrary.ru/zbqgqxx>
17. Malikova P.S., Grishenkova O.G., Laptina Yu.A. The importance of light spectra in the production of grafted cucumber seedlings. *Irrigated agriculture*. 2024;1(44):27–31. (In Russ.) <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2024-1-4>
18. Gubina A.A., Levin E.V., Romanovich M.M. et al. Determination of the optimal spectral composition of radiation from an LED phytolamp to stimulate the development of carrot and tomato seeds. *Journal of the russian universities. Radioelectronics*. 2022;25(3):62–72. (In Russ.) <https://doi.org/10.32603/1993-8985-2022-25-3-62-72> <https://elibrary.ru/uoygsc>
19. Tikhomirov A.A., Lisovsky G.M., Sidko F.Ya., Spectral composition of light and plant productivity, 1991. P. 22–28. (In Russ.)
20. Fraikin G.Ya. Protein light sensors: photoexcited states, signaling properties and application in optogenetics. 2018. P. 5–7. (In Russ.)

Об авторах:

Ольга Геннадьевна Гиченкова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-8852-9958>, SPIN-код: 1750-7323, автор для переписки, olga.gichenkova@mail.ru

Полина Сергеевна Маликова – аспирант, <https://orcid.org/0009-0009-8035-3562>, SPIN-код: 7559-7329, polina_aleksashenkova@mail.ru

Юлия Александровна Лаптина – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-0658-1590>, SPIN-код: 9155-6098, ylaptina82@mail.ru

About the Authors:

Olga G. Gichenkova – Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-8852-9958>, SPIN-code: 1750-7323, Corresponding Author, olga.gichenkova@mail.ru

Polina S. Malikova – postgraduate student, <https://orcid.org/0009-0009-8035-3562>, SPIN-код: 7559-7329, polina_aleksashenkova@mail.ru

Yulia A. Laptina – Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-0658-1590>, SPIN-код: 9155-6098, ylaptina82@mail.ru