

Влияние систем освещения установки «Фитопирамида» на производство томатов и реакция растений на разные световые спектры

The effect of Phytopyramide lighting systems on the production and reaction of tomato hybrids to different spectra

Аль-Рукаби М.Н.М., Леунов В.И., Прикупец Л.Б., Терешонкова Т.А.

Al'-Rukabi M.N.M., Leunov V.I., Prikupets L.B., Tereshonkova T.A.

Аннотация

Abstract

Цель исследования: сравнительная оценка гибридов томатов при выращивании на установке «Фитопирамида» при естественном и искусственном освещении и различных световых спектрах. Опыт 1 проводили в 2020 году во ВНИИО – филиале ФГБНУ ФНЦО (Московская область) в поликарбонатной теплице на многоярусной вегетационной трубной установке (МВТУ) «Фитопирамида». Были отобраны два крупноплодных гибрида томата F₁ Розанна и F₁ Пламенный – детерминантного типа роста, отличающиеся по массе, окраске плода и скороспелости, селекции Агрофирмы «Поиск» (Россия). Опыт 2 с разными вариантами освещения проводили в 2021 году в лаборатории искусственного климата РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева. Растения выращивали в вегетационных сосудах объемом 2 л с использованием субстрата на основе нейтрализованного верхового торфа. Были отобраны четыре гибрида селекции агрофирмы «Поиск»: F₁ Капитан (ультраранний), F₁ Рафинад (раннеспелый), F₁ Коралловый риф (среднеспелый) и F₁ Огонь (средне-среднеспелый). В эксперименте было использовано семь вариантов освещения: 1. Квазимонохроматический красный; 2. Зеленый + синий; 3. Квазимонохроматический зеленый; 4. Синий + красный; 5. Зеленый + красный; 6. Квазимонохроматический синий; 7. Белый. Опыт 3 проводили в 2023 году в НПЦ «Светокультура». Выявлено, что квазимонохроматический красный свет более всего подходит для увеличения числа листьев томата до первой кисти по сравнению с квазимонохроматическим синим и квазимонохроматическим зеленым. Искусственное освещение оказало большее влияние на рост и развитие томата, чем естественное, и привело к увеличению товарной продуктивности 1 растения и товарной урожайности. У гибрида F₁ Пламенный при искусственном освещении отмечено ускорение созревания на 7 дней. В то же время у растений гибрида F₁ Розанна сроки созревания и число плодов были близки при искусственном и при естественном освещении.

The purpose of the study: a comparative assessment of tomato hybrids when grown on the plant Phytopyramide under natural and artificial lighting and various light spectra. Experiment 1 was carried out in 2020 at the ARRIVG – branch of FSBSI FSVC (Moscow region) in a polycarbonate greenhouse on a multi-tiered vegetation pipe installation (MVPI) Phytopyramide. Two large-fruited tomato hybrids F₁ Rozanna and F₁ Plamennyi were selected – a determinant type of growth, differing in weight, color of the fruit and precocity, selection of the Poisk Agrofirma (Russia). Experiment 2 with different lighting options was carried out in 2021 in the laboratory of artificial climate of the RSAU – MTAA named after K.A. Timiryazev. The plants were grown in vegetative vessels with a volume of 2 liters using a substrate based on neutralized peat. Four hybrids of the selection of the Poisk Agrofirma were selected: F₁ Kapitan (ultra-early), F₁ Rafinad (early-ripening), F₁ Korallovyi rif (medium-ripe) and F₁ Ogon (medium-ripe). Seven lighting options were used in the experiment: 1. Quasi-monochromatic Red; 2. Green + Blue; 3. Quasi-monochromatic Green; 4. Blue + Red; 5. Green + Red; 6. Quasi-monochromatic blue; 7. White. Experiment 3 was carried out in 2023 at the SPC «Svetokultura». It was revealed that quasi-monochromatic red light is most suitable for increasing the number of tomato leaves to the first brush in comparison with quasi-monochromatic blue and quasi-monochromatic green. Artificial lighting had a greater impact on the growth and development of tomatoes than natural lighting, and led to an increase in the commercial productivity of 1 plant and commercial yield. In the F₁ Plamennyi hybrid, an acceleration of maturation by 7 days was noted under artificial lighting. At the same time, the plants of the F₁ Rozanna hybrid had maturation dates and the number of fruits were close under artificial and natural lighting.

Key words: *Solanum lycopersicum* L., hydroponic, vertical farming, number of leaves, monochromatic light, binary light, LEDs, light culture, greenhouse.

For citing: The effect of Phytopyramide lighting systems on the production and reaction of tomato hybrids to different spectra. M.N.M. Al'-Rukabi, V.I. Leunov, L.B. Prikupets, T.A. Tereshonkova. Potato and vegetables. 2023. No7. Pp. 23-27. <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.71.72.003> (In Russ.).

Ключевые слова: *Solanum lycopersicum* L., гидропоника, вертикальное земледелие, число листьев, монохроматический свет, бинарный свет, светодиоды, светокультура, теплица.

Для цитирования: Влияние систем освещения установки «Фитопирамида» на производство томатов и реакция растений на разные световые спектры / М.Н.М. Аль-Рукаби, В.И. Леунов, Л.Б. Прикупец, Т.А. Терешонкова // Картофель и овощи. 2023. №7. С. 23-27. <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.71.72.003>

Увеличение численности населения, климатические колебания и склонность потребителей к органическому сельскому хозяйству заставили нас искать альтернативы традиционному почвенному земледелию с использованием вертикальной гидропонной системы («Фитопирамида»). Гидропоника

рассматривается как система с возможностью раннего производства продукции и повышенной урожайностью с 1 м² [1–3]. Это связано с более быстрым прохождением растением фаз развития в условиях «Фитопирамиды» по сравнению с размещением в почве [1]. Рассматриваемая технология поз-

воляет значительно увеличить выход продукции с единицы площади и дает возможность круглогодичного поступления продукции, что весьма важно для обеспечения свежей овощной продукцией городского населения [2].

Свет – один из наиболее ограничивающих факторов, влияющих на

рост растений в защищенном грунте. В последнее время дополнительное искусственное освещение широко используют в тепличном производстве в зимний период или в пасмурные дни, когда солнечное излучение ослабевает. С экономической точки зрения применение дополнительного освещения нецелесообразно, если оно используется в весенне-летний период. Однако применение различных стратегий освещения может снизить энергозатраты [4, 5].

Светодиоды (LED) широко применяются в качестве подходящего источника освещения для промежуточной подсветки, поскольку излучением ближнего инфракрасного диапазона (NIR) можно пренебречь. Недостаток светодиодов – отсутствие теплового излучения, в отличие от тепла, выделяемого натриевыми лампами (HPS). Таким образом, гибридная система освещения, сочетающая в себе преимущества натриевых ламп и светодиодов, может иметь большой потенциал для выращивания тепличных культур. В исследованиях А.В. Буц с соавторами было показано влияние искусственного досвечивания на биометрические показатели F_1 гибридов томата, в результате чего они были условно разделены на три группы: неотзывчивые к досвечиванию, среднеотзывчивые и светолюбивые [4].

Цель исследования: сравнительная оценка гибридов томатов при выращивании на установке «Фитопирамида» при естественном и искусственном освещении и различных световых спектрах.

Условия, материал и методы исследований

Исследования проводили в трех опытах.

Опыт 1 проводили в 2020 году во ВНИИО – филиале ФГБНУ ФНЦО (Московская область) в поликарбонатной теплице на многоярусной вегетационной трубной установке (МВТУ) «Фитопирамида», площадь выращивания – 326,4 м². Были отобраны два крупноплодных гибрида томата F_1 Розанна и F_1 Пламенный – детерминантного типа роста, отличающиеся по массе, окраске плода и скорости спелости, селекции Агрофирмы «Поиск» (Россия). Семена высевали 15.04.2020 в перфорированные стаканчики-контейнеры, которые впоследствии переставляли в отверстия в трубах стеллажной установки. Посадка растений на постоянное место произведена 07.05.2020

в фазе 2–3 настоящих листьев. Плотность посадки на 5 ярусах – 16,2 растения/м². Рассадку томата выращивали в условиях искусственного освещения. Растения получали сбалансированное минеральное питание из питательного раствора, периодически поступающего к корням (по принципу прилив-отлив). Питательный раствор содержал все микро- и макроэлементы, необходимые растениям в конкретный период роста и развития. Растения томата формировали в один стебель, еженедельно проводили подкручивание, удаление пасынков, при формировании первой кисти регулярно удаляли нижние листья. Для лучшего завязывания плодов в теплице использовали шмелей. Растения формировали на 3–4 кисти с удалением точки роста.

Опыт 2 с разными вариантами освещения проводили в 2021 году в лаборатории искусственного климата РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева (рис. 1). Растения выращивали в вегетационных сосудах объемом 2 л с использованием субстрата на основе нейтрализованного верхового торфа. Для посева использовали семена томата урожая 2020 года. Влажность субстрата поддерживали на уровне 70% от полной влагоемкости. Были отобраны четыре гибрида селекции агрофирмы «Поиск»: F_1 Капитан (ультраранний), F_1 Рафинад (раннеспелый), F_1 Коралловый риф (среднеспелый) и F_1 Огонь (средне-среднеспелый). В эксперименте было использовано семь вариантов освещения (рис. 2): 1. Квaziмонохроматический красный (плотность потока фотонов – 80 мкмоль/м²×с) с длиной волны 660 нм; 2. Зеленый + синий (плотность потока фотонов – 160 мкмоль/м²×с) с длиной волны 520 нм и 460 нм в соотношении 1:1; 3. Квaziмонохроматический зе-



Рис. 1. Гибриды томатов на «Фитопирамиде» при естественном и искусственном освещении: а – F_1 Пламенный (естественное освещение), б – F_1 Розанна (естественное освещение), в – F_1 Пламенный (искусственное освещение), г – F_1 Розанна (искусственное освещение)

лenny (плотность потока фотонов – 80 мкмоль/м²×с) с длиной волны 520 нм; 4. Синий + красный (плотность потока фотонов – 160 мкмоль/м²×с) с длиной волны 460 нм и 660 нм в соотношении 1:1; 5. Зеленый+красный (плотность потока фотонов – 160 мкмоль/м²×с) с длиной волны 520 нм и 660 нм в соотношении 1: 1; 6. Квaziмонохроматический синий (плотность потока фотонов – 80 мкмоль/м²×с) с длиной волны 460 нм; 7. Белый (плотность потока фотонов – 80 мкмоль/м²×с). В исследовании было четыре повторения, в каждом варианте – 16 сосудов. Цветовая температура – 5000 К. Фотопериод во всех опытах – 18 ч.

Опыт 3 проводили в 2023 году в НПЦ «Светокультура», которая входит в состав Международной светотехнической корпорации «Боос Лайтинг Групп» (МСК «БЛ ГРУПП») – эксклюзивного дистрибьютора продукции, выпускаемой под торговой маркой GALAD Green Line (г. Москва). Исследования выполняли на МВТУ в вегетационных камерах (рис. 2). Были отобраны два крупноплодных гибрида томата – F_1 Розанна и F_1 Пламенный. Растения томата формировали в один стебель, ежене-

Таблица 1. Влияние естественного и искусственного освещения при выращивании томатов в условиях МВТУ «Фитопирамида» на срок созревания (сут.), 2020–2023 годы

Гибрид	Срок созревания, сут.		Ускорение, сут.
	«Фитопирамида» (искусственное освещение), 2023 год	«Фитопирамида» (естественное освещение), 2020 год	
F ₁ Пламенный	77,50±0,87	84,00±1,08	-6,50
F ₁ Розанна	93,50±0,65	92,75±1,11	0,75

дельно проводили подкручивание, удаление пасынков, при формировании первой кисти регулярно удаляли нижние листья. Использовали два типа ламп: сверху – натриевые высокого давления (ДНАТ) 600 Вт/REFLUX (облученность ФАР 250 мкмоль/м²с), внутри ценоза находились трубчатые протяженные СД-облучатели (синий+красный) (плотность потока фотонов – 80 мкмоль/м²с) с длиной волны λ_{max} = 460 и 660 нм в соотношении 1:9. Фотопериод – 18 ч в сутки. Температура воздуха находилась на уровне 22 °С днем и 18 °С ночью, влажность воздуха была 60–65%. Посев семян произвели 01.12.2022. Семена высевали в перфорированные стаканчики-контейнеры, которые впоследствии переставляли в отверстия на трубах стеллажной установки (посадка). На постоянное место растения пересаживали 20.12.2022 в фазе 2–3 настоящих листьев. Начало сбора плодов – 18.02.2023. Растения формировали на 3–4 кисти с удалением точки роста.

Проводили следующие учеты: срок созревания (всходы-созревание) (сут.) при естественном и искусственном освещении; урожайность (кг/м²); число плодов (шт.); масса одного плода (г); продуктивность 1 растения (г/раст.) при естественном и искусственном освещении; число листьев до первой кисти (шт.) через 39 дней после появления всходов.

Результаты исследований

Выявлено влияние естественного и искусственного освещения при выращивании томатов в условиях МВТУ «Фитопирамида» на срок созревания (табл. 1). Гибрид F₁ Пламенный созревал раньше при искусственном освещении (77,50 сут.), чем при естественном (84,00 сут.). У растений гибрида F₁ Розанна значения и при искусственном, и при естественном освещении были сопоставимы.

У гибрида F₁ Пламенный (рис. 3) при искусственном освещении отмечено ускорение созревания на неделю. Это связано, вероятнее всего, с эффектом освещения и реакцией гибрида. У гибрида F₁ Розанна, реакции скороспелости выявлено не было, и значения были близкими в условиях искусственного и естественного освещения.

При выращивании на МВТУ «Фитопирамида» отмечено также влияние естественного и искусственного освещения на урожайность, продуктивность, массу одного плода и число плодов у исследуемых томатов (табл. 2). Наибольшее влияние искусственное освещение оказало на число плодов у исследуемых гибридов. Так, у гибрида F₁ Пламенный их было получено 13,00 шт. по сравнению с естественным освещением, где их было получено 8,23 шт. Однако у гибрида F₁ Розанна эта величина была примерно одинаковой и при искусственном, и при ес-

тественном освещении. Что касается массы одного плода, то у гибрида F₁ Пламенный естественное освещение оказало большее влияние, чем искусственное (125,75 г против 110,03 г). У гибрида F₁ Розанна, наоборот, при искусственном освещении – 176,30 г, а при естественном – 155,00 г. Искусственное освещение оказало большее влияние, чем естественное, и привело к увеличению продуктивности и урожайности. Продуктивность и урожайность у гибрида F₁ Розанна были выше, чем у гибрида F₁ Пламенный, и составили 1609,23 г/раст. и 26,07 кг/м² при искусственном освещении, а при естественном – 1412,50 г/раст. и 22,88 кг/м² соответственно.

Искусственное освещение повлияло на реакцию гибрида F₁ Пламенный по признаку числа плодов, но у гибрида F₁ Розанна такого влияния не отмечено. Масса одного плода у гибрида F₁ Пламенный была выше при естественном освещении, а у гибрида F₁ Розанна, наоборот, выше при искусственном освещении.

Искусственное светодиодное освещение (синий+красный) увеличило фотосинтез, накопление биомассы и содержание питательных веществ в растениях, что отразилось на увеличении урожайности растений и продуктивности. Периоды и сезоны выращивания определяют уровень естественного освещения, поскольку оно может быть низким из-за недостатка солнечного света или высоким, но ниже оптимального уровня роста. В этом случае светодиодное освещение (считающееся энергосберегающим) обеспечивает необходимый для растений уровень освещения.

Спектральный состав света влияет на увеличение числа листьев до первой кисти у растений томата. Этот показатель значительно от-

Таблица 2. Влияние естественного и искусственного освещения при выращивании томатов в условиях МВТУ «Фитопирамида» на урожайность, продуктивность и товарность исследуемых гибридов, 2020–2023 годы

Показатель	Гибрид	«Фитопирамида» (искусственное освещение), 2023 год	«Фитопирамида» (естественное освещение), 2020 год	Ускорение
Число плодов стандарта, шт.	F ₁ Пламенный	13,00±0,91	8,23±1,21	4,77
	F ₁ Розанна	9,25±0,75	9,12±0,82	0,13
Масса одного плода стандарта, г	F ₁ Пламенный	110,03±4,46	125,75±10,55	-15,72
	F ₁ Розанна	176,30±9,30	155,00±11,90	21,30
Товарная продуктивность 1 растения, г/раст.	F ₁ Пламенный	1412,03±37,67	1010,00±52,60	402,03
	F ₁ Розанна	1609,23±48,78	1412,50±84,20	196,73
Урожайность товарная, кг/м ²	F ₁ Пламенный	22,87±1,39	16,36±1,68	6,51
	F ₁ Розанна	26,07±1,09	22,88±1,34	3,19

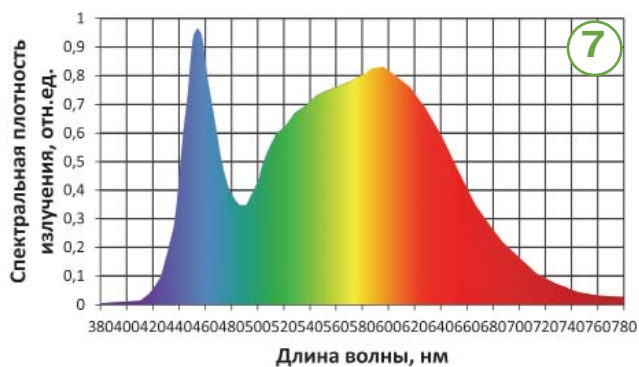
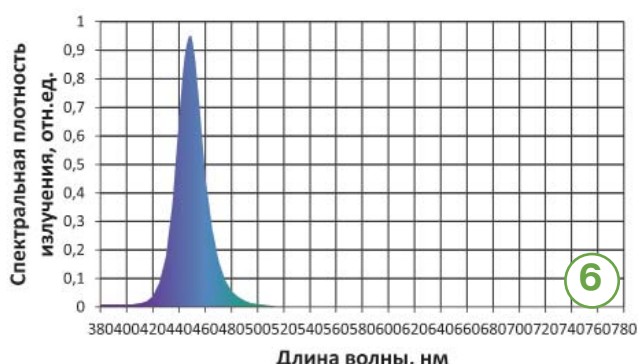
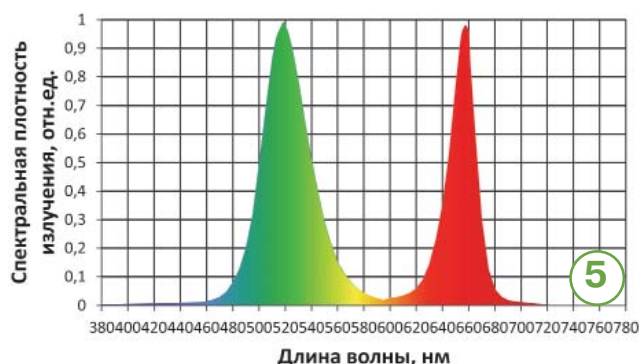
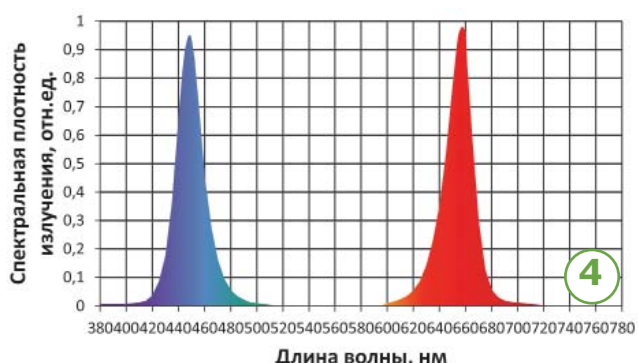
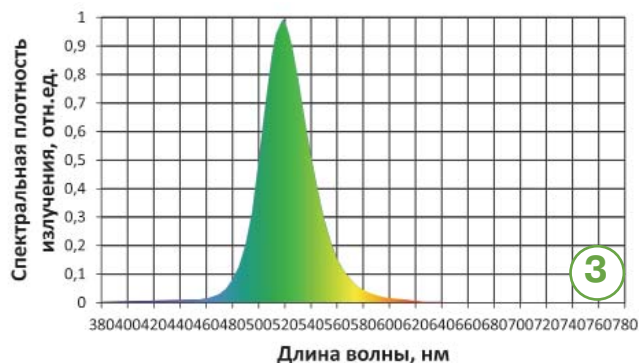
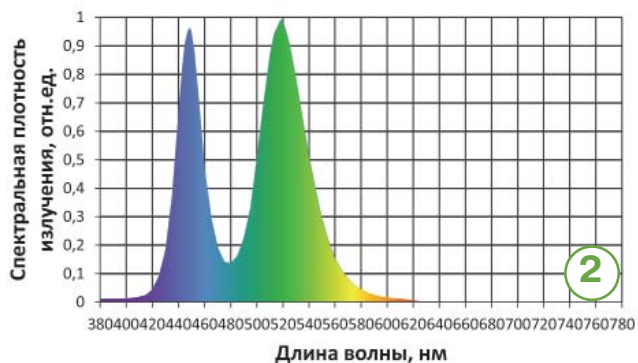
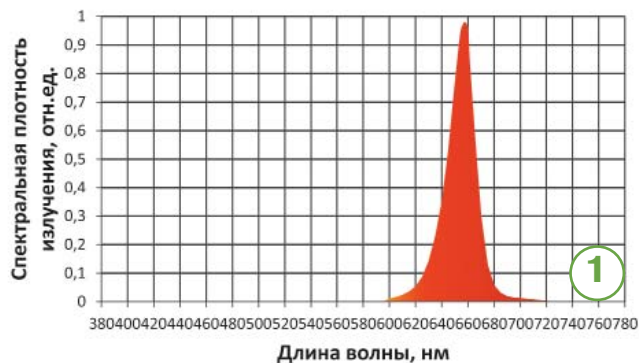


Рис. 2. Спектры светодиодных облучателей, используемых в работе: 1) Квазимонохроматический красный; 2) Зеленый + синий; 3) Квазимонохроматический зеленый; 4) Синий + красный; 5) Зеленый + красный; 6) Квазимонохроматический синий; 7) Белый.

личался по вариантам через 39 дней после появления всходов (рис. 4). Самый высокий показатель увеличения числа листьев был в варианте с монохроматическим красным (К) – 7,75 шт. У растений, выращенных при комбинированном монохроматическом зеленом (З) и синем (С), этот показатель был наименьшим – 0 шт. У гибрида F₁ Рафинад число листьев составило 7,45 шт. У растений гибрида F₁ Огонь этот показатель был наименьшим – 6,15 шт.

Вариант с освещением квази-монокроматическим красным (К) способствовал росту числа листьев до первой кисти, интенсификации клеточного деления, увеличению площади листьев и содержания питательных веществ в растении, повышению эффективности фотосинтеза, что способствовало раннему цветению и возрастанию урожайности. За ним следуют варианты зеленый+красный (З+К) и белый (Б). От влияния осве-

щения квази-монокроматическим зеленым (З) и синим (С) спектрами эффект был наименьшим.

Бинарный спектральный зеленый+красный (З+К) имел меньший эффект, чем квази-монокроматический красный (К), но более высокий, чем зеленый (З). Двойной синий+красный (С+К) имел меньший эффект, чем квази-монокроматический красный (К) и более высокий, чем синий (С). Эффект двойного зеленого+синий (З+С) был более высоким, чем у квази-монокроматических зеленого (З) и синего (С). Красный свет продлевает стадию деления клеток и таким образом увеличивает количество листьев [5].

Выводы

Квази-монокроматический красный (К) свет более всего подходит для увеличения числа листьев томата до первой кисти по сравнению с квази-монокроматическим синим (С)

и монохроматическим зеленым (З). Искусственное освещение оказало большее влияние на рост и развитие томата, чем естественное, и привело к увеличению товарной продуктивности 1 растения и товарной урожайности. У гибрида F₁ Пламенный при искусственном освещении отмечено ускорение созревания на 7 дней. В то же время у растений гибрида F₁ Розанна сроки созревания и число плодов были близки при искусственном и естественном освещении. Это свидетельствует о том, что искусственное освещение в зависимости от реакции гибрида может увеличивать их производственные и качественные показатели, а также улучшать физиологические и хозяйственные процессы растения по сравнению с естественным освещением, или показатели роста могут не меняться в зависимости от реакции гибрида.

Библиографический список

References

1. Аль-Рукаби М.Н.М., Леунов В.И., Терешонкова Т.А. Изучение гибридов томата в условиях беспочвенного возделывания, традиционной системы и различных систем освещения // Картофель и овощи. 2023. №4. С. 26–30.
2. Гидропоника – перспективное решение для ряда сельскохозяйственных проблем Ирака / М.Н.М. Аль-Рукаби, Н.Х. Халил, В.И. Леунов, Т.А. Терешонкова // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. №6 (384). С. 105–109.
3. Аль-Рукаби М.Н.М., Леунов В.И., Терешонкова Т.А. Оценка технологии выращивания гибридов томатов в многослойной гидропонике и защищенном грунте // Аграрная наука-2022: материалы Всерос. конф. молодых исследователей (Москва, 22–24 ноября 2022 года). М.: РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. С. 141–145.
4. Буц А.В., Цаценко Л.В., Старцева Н.В. Влияние искусственного досвечивания на гибриды томата F₁, созданные с применением метода REAL-TIME PCR // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. №169. С. 303–318.
5. Yan W. Effects of supplementary artificial light on growth of the tomato (*Solanum lycopersicum*) in a chinese solar greenhouse / W. Yan, Y. Zhang, Y. Zhang, R. Cheng, Y. Zhang, Q. Yang, T. Li // The Horticulture Journal. 2018. №87(4). Pp. 516–523.

1. Al'-Rukabi M.N.M., Leunov V.I., Tereshonkova T.A. Study of tomato hybrids in conditions of groundless cultivation, traditional system and various lighting systems. Potato and vegetables. 2023. No4. Pp. 26–30 (In Russ.).
2. Hydroponics – a promising solution for a number of agricultural problems in Iraq. M.N.M. Al'-Rukabi, N.Kh. Khalil, V.I. Leunov, T.A. Tereshonkova. International Agricultural Journal. 2021. No6 (384). Pp. 105–109 (In Russ.).
3. Al'-Rukabi M.N.M., Leunov V.I., Tereshonkova T.A. Evaluation of the technology of growing tomato hybrids in multilayer hydroponics and protected soil. Agrarian Science-2022: materials of the All-Russian Conference of Young Researchers (Moscow, November 22–24, 2022). Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2022. Pp. 141–145 (In Russ.).
4. Butz A.V., Tsatsenko L.V., Startseva N.V. The effect of artificial illumination on F₁ tomato hybrids created using the Real-Time PCR method. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2021. No169. Pp. 303–318 (In Russ.).
5. Effects of supplementary artificial light on growth of the tomato (*Solanum lycopersicum*) in a chinese solar greenhouse. W. Yan, Y. Zhang, Y. Zhang, R. Cheng, Y. Zhang, Q. Yang, T. Li. The Horticulture Journal. 2018. №87 (4). Pp. 516–523.

Об авторах

Author details

Аль-Рукаби Маад Нассар Мохаммед, аспирант кафедры овощеводства, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева. E-mail: maad_n.m@yahoo.com

Леунов Владимир Иванович, доктор с.-х. наук, профессор кафедры овощеводства, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева. E-mail: vileunov@mail.ru

Прикупец Леонид Борисович, канд. техн. наук, заведующий лабораторией облучательной техники, Всероссийский научно-исследовательский светотехнический институт им. С.И. Вавилова (ВНИСИ)

Терешонкова Татьяна Аркадьевна, канд. с.-х. наук, зав. лабораторией иммунитета и селекции пасленовых культур, ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО, селекционер по томату Агрохолдинга «Поиск». E-mail: tata7707@bk.ru

Al-Rukabi M.N.M., post-graduate student of Vegetable Production Department, RSAU – MTAA named after K.A. Timiryazev. E-mail: maad_n.m@yahoo.com

Leunov V.I., D. Sci. (Agr.), Professor of Vegetable Production Department, RSAU – MTAA named after K.A. Timiryazev. E-mail: vileunov@mail.ru

Prikupets L.B., Cand. Sci. (Techn.), Head of the Laboratory of Irradiation Technology, All-Russian Scientific Research Lighting Institute named after S.I. Vavilov (ARSRLI)

Tereshonkova T.A., Cand. Sci. (Agr.), Head of the Laboratory of immunity and selection of nightshade crops, ARRIVG – branch of FSBSI FSVC, tomato breeder of the Poisk Agrofirma. E-mail: tata7707@bk.ru