

DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-3\(41\)-410-418](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-3(41)-410-418)

УДК 621.3

Віталій Анатолійович Мардзявко¹, Андрій Юрійович Руденко²¹асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет (Миколаїв, Україна)

E-mail: vitalijmardzavko@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7327-9215>²асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет (Миколаїв, Україна)

E-mail: andrey0911r@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5103-6412>

ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОГО СКЛАДУ LED-ФІТОЛАМП ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР У ЗАКРИТОМУ ҐРУНТІ

Розглянуто спектральні режими роботи LED-фітоламп як ефективного засобу стимулювання росту та підвищення продуктивності овочевих культур у закритому ґрунті. Проаналізовано результати експериментальних досліджень впливу червоного, синього, інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання на основні біометричні показники томатів і салату. Наведено порівняльні характеристики чотирьох варіантів спектрального освітлення, що дозволило встановити оптимальну комбінацію спектрів для підвищення врожайності та фотосинтетичної активності. Отримані результати можуть бути використані для проєктування енергоефективних систем освітлення в тепличному господарстві.

Ключові слова: фітолампа; спектральний склад; LED-освітлення; тепличне виробництво; фотосинтез; овочеві культури.

Рис.: 3. Табл.: 3. Бібл.: 14.

Постановка проблеми. Післявоєнне відновлення України вимагає системного підходу до забезпечення продовольчої безпеки держави. Одним із критичних напрямів такого відновлення є інтенсифікація агропромислового комплексу, особливо в регіонах, де через руйнування, замінування або зміни кліматичних умов відкритий ґрунт став малопридатним для традиційного землеробства. У цьому контексті тепличне овочівництво набуває особливого значення як стратегічний інструмент для стабільного та контрольованого виробництва овочевої продукції протягом року.

Завдяки можливості цілорічного вирощування овочів, зелені та ягід тепличні комплекси дозволяють забезпечити стабільне постачання свіжих продуктів харчування навіть у зимовий період і зменшити залежність від імпорту, що є критично важливим у період нестабільності логістичних ланцюгів і валютних коливань. Окрім того, тепличне виробництво сприяє швидкому економічному відновленню постраждалих регіонів, надаючи можливість малим і середнім фермерам повернутися до аграрної діяльності з відносно меншими капіталовкладеннями, ніж у випадку традиційного польового землеробства. У світлі кліматичних змін, що призводять до дедалі частіших посух, злив та температурних аномалій, закритий ґрунт із контрольованим мікрокліматом виступає як надійний інструмент стабільного виробництва незалежно від зовнішніх умов.

Сучасні технології – автоматизовані системи поливу, клімат-контролю, гідропоніка, енергоощадне LED-освітлення та відновлювальні джерела енергії – відкривають перспективи розвитку високотехнологічного тепличного сектору, що поєднує продовольчу функцію з інноваційною [1]. Таким чином, інвестиції в розвиток тепличного господарства є не лише тактичним, а й стратегічним кроком для відновлення та зміцнення аграрного потенціалу України в умовах повоєнної трансформації.

Успішне вирощування овочевих культур у закритому ґрунті значною мірою залежить від параметрів штучного освітлення, зокрема від спектрального складу світла, який визначає фізіологічні процеси рослин – фотосинтез, формування біомаси, процеси цвітіння та плодоношення [2]. На відміну від природного сонячного світла, фітолампи дають змогу

цілеспрямовано впливати на рослини, покращити їх розвиток шляхом регулювання співвідношення довжин хвиль у світловому потоці. Це особливо важливо в умовах України, де тепличні комплекси змушені працювати в умовах нестабільного енергозабезпечення, короткого світлового дня та необхідності максимального використання ресурсів.

Використання фітоламп із різними спектральними характеристиками дозволяє оптимізувати фотосинтетичну активність рослин, підвищити їх продуктивність та покращити якість врожаю [3]. Дослідження реагування рослин до змін спектрального складу світла сприятиме розвитку технологій, що забезпечують стабільне виробництво овочевої продукції в умовах закритого ґрунту та вертикального землеробства.

Сучасні LED-фітолампи дозволяють формувати спеціальні спектральні профілі освітлення з акцентом на червоний (660 нм), синій (450 нм), а також інші діапазони, що забезпечують фотоморфогенетичну регуляцію росту культур [4]. Проте ефективність конкретного спектрального складу може варіюватися залежно від культури, етапу розвитку рослини, умов мікроклімату теплиці та технології вирощування.

Незважаючи на активне використання фітоламп у промисловому тепличному виробництві, залишається недостатньо вивченим вплив окремих спектральних діапазонів на продуктивність овочевих культур, які потребують енергоефективних та адаптивних рішень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Світлодіодні фітолампи для опромінення рослин конструкцією не відрізняються від звичайних LED освітлювальних пристроїв – випромінюючі кристали під впливом електричного струму генерують світловий потік певної довжини хвилі (табл. 1).

Таблиця 1 – Світловий потік залежно від довжини хвилі

Колір	Діапазон довжини хвилі, нм	Діапазон частот, ТГц	Діапазон енергії фотонів, еВ
Фіолетовий	380-440	790-680	2,82-3,26
Синій	440-485	680-620	2,56-2,82
Блакитний	485-500	620-600	2,48-2,56
Зелений	500-565	600-530	2,19-2,48
Жовтий	565-590	530-510	2,10-2,19
Помаранчевий	590-625	510-480	1,98-2,10
Червоний	625-740	480-405	1,68-1,98

Відмінність фітоламп та LED-пристроїв спостерігається у складі спектра – не вузький інтервал теплого білого світіння як ламп розжарювання, а широкий діапазон від ультрафіолету і аж до червоних променів [5]. У цьому спектрі, що випромінюється, і полягає основна перевага світлодіодних фітоламп для рослин – LED випромінюють світло найпотрібніших для кімнатних рослин спектрів.

Фітолампи є спеціальними джерелами світла, які імітують природне сонячне освітлення та забезпечують рослини необхідним спектром для їхнього росту та розвитку. Вони особливо корисні в умовах недостатнього природного освітлення, наприклад, взимку або при вирощуванні рослин у приміщеннях.

Різні спектри світла мають значний вплив на фотосинтетичну активність рослин, і це питання активно досліджувалося у багатьох наукових роботах. Аналіз роботи [6] розглядає механізми, за допомогою яких різні спектральні компоненти світла – зокрема, червоний, синій та зелений спектри – можуть покращувати або знижувати ефективність фотосинтезу в рослинах. У їхньому дослідженні наголошується на важливості взаємодії світла з фотосистемами рослин на рівні хлоропластів, де спектральний склад світла безпосередньо впливає на енергетичний баланс фотосинтетичного апарату.

Робота [7] детально розглядає вплив спектрів світла, зокрема червоного та синього, на фотосинтетичну активність рослин. Автори підкреслюють, що для оптимізації фотосинтезу рослини використовують різні спектральні компоненти світла залежно від інтенсивності та умов навколишнього середовища. Вони також підкреслюють важливість комбінованого використання цих спектрів для максимізації ефективності фотосинтезу, оскільки кожен спектр стимулює різні фотосистеми рослин.

У роботі [8] акцентується увага на тому, як спектральний склад світла, зокрема червоний та синій діапазони, впливає на швидкість фотосинтетичних процесів і загальний ріст рослин. Вони зосереджуються на аналізі того, як зміни в інтенсивності світла і спектрі можуть змінювати продуктивність фотосинтезу в різних умовах, зокрема в лабораторних експериментах.

У роботах [9, 10] вивчається вплив світла на фотосинтетичну активність з особливим акцентом на роль фотосинтетичних пігментів, таких як хлорофіл і каротиноїди. Дослідження показують, як різні спектри світла впливають на вироблення енергії в хлоропластах, що є критичним для ефективного фотосинтезу. Зокрема, він аналізує, як спектральні компоненти світла можуть призводити до стресу в рослинах або, навпаки, покращувати їх фотосинтетичну активність в умовах певних спектральних складових.

Результати роботи [11] зосереджуються на методах вимірювання флуоресценції хлорофілу, яка є важливим інструментом для оцінки фотосинтетичної активності. Вони описують, як різні спектри світла змінюють параметри флуоресценції, що дозволяє точно вимірювати ефективність фотосинтетичних процесів. Зокрема, флуоресценція хлорофілу є дуже чутливим показником для вивчення того, як світло різної довжини хвилі впливає на фотосинтез.

Загалом, ці дослідження підтверджують, що спектральний склад світла є важливим фактором для оптимізації фотосинтетичних процесів. Червоний та синій спектри особливо важливі для стимулювання фотосистеми, а комбіноване використання різних спектрів дозволяє досягти найкращих результатів у фотосинтезі. Таким чином, ці роботи відкривають нові можливості для покращення умов вирощування рослин, зокрема в умовах штучного освітлення або теплиць.

Отже, основні спектри світла відіграють ключову роль у процесах росту, розвитку та продуктивності рослин, забезпечуючи їхні потреби на різних стадіях життєвого циклу.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Попри значну кількість досліджень, присвячених впливу спектрального складу світла на ріст і розвиток рослин, окремі аспекти цієї проблеми залишаються недостатньо вивченими. Зокрема, потребує подальшого вивчення комплексна дія різних спектральних компонентів (червоного, синього, інфрачервоного та ультрафіолетового) у поєднанні, їх вплив на продуктивність на різних етапах онтогенезу, а також ефективність такого освітлення з погляду енергоспоживання та економічної доцільності. Відсутність цілісного підходу до визначення оптимального спектра для конкретних культур в умовах закритого ґрунту зумовлює актуальність подальших досліджень у цьому напрямі.

Метою роботи є вивчення впливу спектрального складу LED-фітоламп на ріст, розвиток і продуктивність основних овочевих культур, вирощуваних у закритому ґрунті, з метою покращення технології тепличного виробництва.

Виклад основного матеріалу. За результатами дослідження [12; 13] можна побудувати графік (рис. 1), з якого видно, як різні довжини хвиль світла впливають на фотосинтетичну активність рослин. Видно, що червоний (близько 650 нм) і синій (близько 450 нм) спектри найефективніші для фотосинтезу.

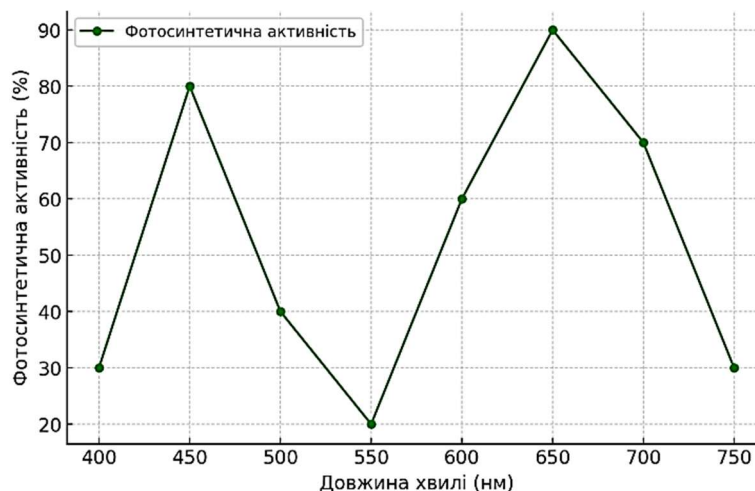


Рис. 1. Вплив спектра світла на фотосинтез

За результатами [14] також можна побудувати графік (рис. 2), який демонструє загальний вплив довжини хвилі світла на ріст рослин.

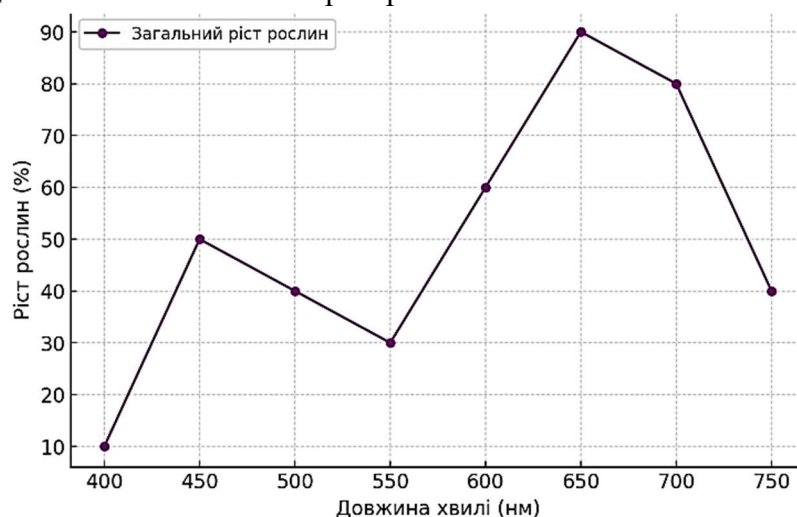


Рис. 2. Вплив довжини хвилі світла на ріст рослин

Найбільший ріст спостерігається в червоному (650-700 нм) та синьому (450 нм) спектрах, що відповідає основним фотосинтетично активним діапазнам. Таким чином, має сенс застосовувати комбіноване використання цих спектрів у фітолампах, що забезпечує комплексну стимуляцію ростових і продуктивних процесів, що може бути основою для ефективного тепличного виробництва в умовах сучасних агротехнологій.

Відповідно до мети цієї роботи, нами було проведено експериментальні дослідження щодо впливу спектрального складу LED-фітоламп на ріст, розвиток і врожайність овочевих культур на базі навчальної теплиці. Як розсаду було обрано томати (*Solanum lycopersicum* сорту «Чумак») та салат листковий (*Lactuca sativa* сорту «Одеса 75»).

Для проведення дослідів було сформовано **4 експериментальні варіанти освітлення** з використанням LED-фітоламп потужністю 100 Вт, встановлених на висоті 25 см над рослинами:

Варіант 1 (контрольний) – повний спектр (380-780 нм).

Варіант 2 – переважно синій спектр (70 % синій, 30 % червоний).

Варіант 3 – переважно червоний спектр (70 % червоний, 30 % синій).

Варіант 4 – комбінований спектр із додаванням ІЧ і УФ (50 % червоний, 30 % синій, 10 % ІЧ, 10 % УФ).

Усі інші умови вирощування були стандартними та однаковими:

- **Температура:** + 23 °С вдень, + 18 °С вночі;
- **Вологість повітря:** 65-70 %;
- **Фотоперіод:** 16 год/добу;
- **Субстрат:** торф'яно-кокосова суміш;
- **Полив:** крапельний, автоматизований;
- **Живлення:** розчин NPK 12-12-18 з мікроелементами.

Параметри, що досліджувалися: середня висота рослин (см); кількість справжніх листків (шт); площа листкової поверхні (см²); маса сирої біомаси (г); вміст хлорофілу a + b (за Арнон); урожайність (кг/м²).

Дані збиралися щотижня протягом 8 тижнів вегетації. Статистичну обробку результатів здійснювали методом дисперсійного аналізу (ANOVA) з рівнем значущості $p \leq 0,05$.

У результаті дослідження встановлено, що спектральний склад освітлення істотно впливає на ріст, розвиток та продуктивність овочевих культур у закритому ґрунті. Узагальнені дані по варіантах досліді подано в таблицях 2, 3.

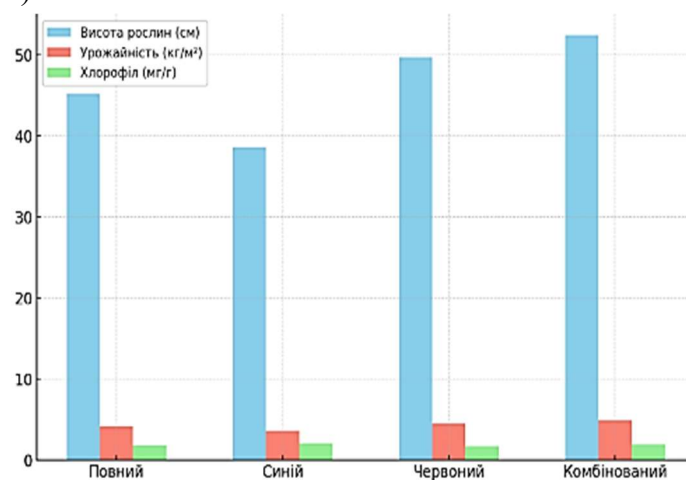
Таблиця 2 – Вплив спектрального складу фітоламп на показники томату

Показник	Варіант 1 (повний спектр)	Варіант 2 (синій)	Варіант 3 (червоний)	Варіант 4 (комбінований)
Висота рослин, см	45,2	38,6	49,7	52,4
Кількість квіток, шт	15	11	18	20
Маса плодів, г/рослина	243	211	267	288
Урожайність, кг/м ²	4,1	3,6	4,5	4,9
Вміст хлорофілу, мг/г	1,82	2,06	1,67	1,94

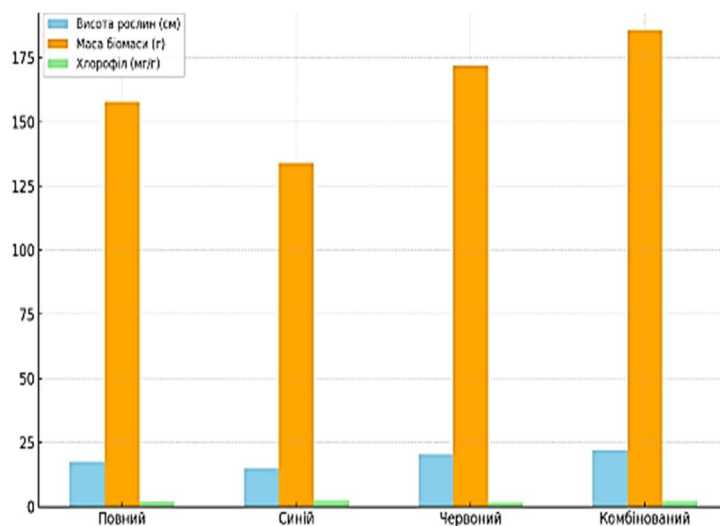
Таблиця 3 – Вплив спектрального складу фітоламп на показники салату

Показник	Варіант 1 (повний спектр)	Варіант 2 (синій)	Варіант 3 (червоний)	Варіант 4 (комбінований)
Висота рослин, см	17,5	14,9	20,4	22,1
Листкова поверхня, см ²	282	316	268	305
Маса сирої біомаси, г	158	134	172	186
Вміст хлорофілу, мг/г	2,08	2,47	1,77	2,38
Сухий залишок, %	6,2	6,5	6,8	7,1

За узагальненими даними таблиць 2, 3, можна побудувати діаграми, які показують вплив різних спектральних режимів LED-фітоламп на висоту рослин, вміст хлорофілу та урожайність (рис. 3).



a



б

Рис. 3. Вплив спектра фітолампи на ріст та продуктивність:

а – томату; б – салату

Як видно, найвищі показники за всіма критеріями досягнуто при використанні комбінованого спектра.

Аналіз отриманих результатів засвідчив, що для томату найвищі показники за всіма ключовими параметрами спостерігалися при використанні комбінованого спектра освітлення. Урожайність у цьому варіанті сягала 4,9 кг/м², що на 19,5 % вище за контрольний варіант (повний спектр) і на 36 % – за варіант із домінуванням синього спектра. Аналогічна динаміка виявлена за масою плодів та кількістю квіток. Збільшення біомаси та ріст рослин у цьому режимі пояснюється синергічною дією синього (формування листяної маси), червоного (регуляція плодоношення), інфрачервоного (розвиток кореневої системи) та ультрафіолетового світла (активація стійкості).

Хоча синій спектр забезпечив найвищий вміст хлорофілу (2,06 мг/г), він не компенсував загальну втрату продуктивності, ймовірно через відсутність активного стимулювання генеративних процесів. Червоний спектр, навпаки, суттєво активізував плодоношення, але без належної вегетативної підтримки, що позначилося на рівні хлорофілу та довготривалості розвитку.

Для салату перевага комбінованого спектра проявилася у максимальних значеннях біомаси (186 г), висоти (22,1 см) та сухої речовини (7,1 %), що вказує на збалансований ріст і високу якість продукції. Синій спектр забезпечив найвищий вміст хлорофілу (2,47 мг/г) і площу листової поверхні (316 см²), однак поступався у загальній масі врожаю. Це підтверджує, що синій спектр є критично важливим для ранніх етапів росту, але для максимальної продуктивності необхідна присутність червоного та ІЧ-компонентів.

Таким чином, поєднання червоного, синього, ІЧ та УФ-випромінювання в адаптивному режимі LED-освітлення створює оптимальні умови для розвитку як вегетативних, так і генеративних органів овочевих культур.

Висновок. Результати моделювання та аналізу спектрального впливу фітоламп на ріст, фотосинтетичну активність і продуктивність овочевих культур свідчать про вирішальну роль комбінованого спектрального режиму у підвищенні ефективності тепличного вирощування. Поєднання червоного, синього, інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання забезпечує збалансований розвиток рослин на всіх етапах онтогенезу – від формування вегетативної маси до плодоношення.

Встановлено, що при використанні комбінованого спектра спостерігається максимальне зростання урожайності томату (до 4,9 кг/м²), а також збільшення біомаси салату (до 186 г/рослина) з одночасним покращенням якісних параметрів, таких як вміст хлорофілу та сухої речовини. Порівняно з моноспектральними варіантами, комбіноване освітлення забезпечує найвищу ресурсну ефективність, оптимізує фотоморфогенез та підвищує стійкість рослин до стресових факторів.

Також необхідно враховувати, що LED-фітолампи можуть динамічно змінювати співвідношення різних довжин хвиль, на відміну від традиційних ламп, вони дозволяють точно налаштовувати спектр у режимі реального часу. Таким чином, застосування LED-фітоламп з комбінованим спектром є не лише агротехнічно ефективним, але й економічно доцільним рішенням для сучасного тепличного господарства. Це оптимізує процес опромінення та енергоспоживання, забезпечує зниження витрат на закупівлю додаткових ламп та сприяє підвищенню економічної рентабельності тепличного виробництва в умовах обмежених ресурсів.

Отже, впровадження адаптивних світлодіодних систем із керованим спектром у тепличному виробництві слід розглядати як інноваційну складову сучасного аграрного середовища, особливо в контексті післявоєнного відновлення продовольчої безпеки України.

Заява про використання генеративного ШІ та технологій на основі ШІ в процесі написання тексту статті.

Під час написання цього матеріалу автор(и) використовували [<https://chatgpt.com>] – [Для зменшення об'єму тексту проаналізованих досліджень за тематикою публікації та систематизація і узагальнення результатів експерименту]. Після використання цього інструменту/сервісу автор(и) переглянув(ли) та відредагува(ли) зміст за потреби і взяв(ли) на себе повну відповідальність за зміст публікації.

Список використаних джерел

1. Петров, О., & Іваненко, Л. (2023). Сучасні технології в тепличному господарстві: Автоматизація, енергоефективність та інновації. *Технічні науки та агротехнології*, 2(18), 45-52.
2. Ковальчук Р., & Савчук І. (2022). Вплив спектрального складу штучного освітлення на ріст і розвиток овочевих культур у захищеному ґрунті. *Агротехнології та біоенергетика*, 4(12), 33-40.
3. Ткаченко Л., & Бондар А. (2023). Ефективність застосування фітоламп із різним спектральним складом у тепличному рослинництві. *Світ аграрної науки*, 1(25), 58-64.
4. Мельник Д., & Гринюк О. (2024). Спектральна оптимізація LED-фітоламп для регуляції росту рослин у закритому ґрунті. *Інженерія аграрних систем*, 2(30), 41-48.
5. Сидоренко В., & Литвиненко Ю. Порівняльний аналіз спектральних характеристик фітоламп і традиційних джерел світла в аграрному виробництві. *Світло в агросистемах*, 3(11), 27-34.
6. Ehleringer J., & Björkman O. (1997). Quantum yields for CO₂ uptake in C₃ and C₄ plants: dependence on temperature, CO₂, and O₂ concentration. *Plant Physiology*, 1(59), 86-90.
7. Murchie E., & Lawson T. (2013). Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*, 13(64), 3983-3998.
8. Sager J., & McFarlane J. (1989). Radiation and photosynthesis. *Plant Growth Chamber Handbook*. 1-29.
9. Havaux, M. (1992). Stress tolerance of photosystem II in vivo: Antagonistic effects of photodamage and photoprotection due to carotenoids and epoxidation state of the xanthophyll cycle. *Planta*, 186(3), 450-460.
10. Дяченко І., & Романенко Л. (2023). Вплив спектрального складу світла на фотосинтетичну активність та пігментну систему рослин. *Фізіологія рослин і клітинна біологія*, 2(16), 21-28.
11. Maxwell K., & Johnson G. (2000). Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51(345), 659-668.

12. Tyystjärvi E., & Herranen M. (2018). Blue light reduces photosynthetic efficiency of cyanobacteria through an imbalance between photosystems I and II. *Photosynthesis Research*, 138, 103-116.
13. Zhang C., & Porcar-Castell A. (2019). Do all chlorophyll fluorescence emission wavelengths capture the spring recovery of photosynthesis in boreal evergreen foliage?. *Plant, Cell & Environment*, 42, 2455-2469.
14. Mickens M., & Torralba M. (2017). Modeling light distribution within plant canopies using ray tracing and computational geometry techniques. *Frontiers in Plant Science*, 8, 805-917.

References

1. Petrov, O., & Ivanenko, L. (2023). Suchasni tekhnolohii v teplychnomu hospodarstvi: Avtomatyzatsiia, enerhoefektyvnist ta innovatsii [Modern technologies in greenhouse farming: automation, energy efficiency and innovation]. *Tekhnichni nauky ta ahrotekhnolohii. – Technical sciences and agricultural technologies*, 2(18), 45-52.
2. Kovalchuk R., & Savchuk I. (2022). Vplyv spektralnogo skladu shtuchnogo osvittlenia na rist i rozvytok ovochevykh kultur u zakhyshchenomu gruntі [The influence of the spectral composition of artificial lighting on the growth and development of vegetable crops in protected soil]. *Ahrotekhnolohii ta bioenerhetyka. – Agrotechnology and Bioenergy*, 4(12), 33-40.
3. Tkachenko L., & Bondar A. (2023). Efektyvnist zastosuvannia fitolamp iz riznym spektralnym skladom u teplychnomu roslynnytstvi [The effectiveness of the use of phytolamps with different spectral composition in greenhouse crop production]. *Svit ahrarnoi nauky. – World of Agricultural Science*, 1(25), 58-64.
4. Melnyk D., & Hryniuk O. (2024). Spektralna optymizatsiia LED-fitolamp dlia rehuliacii rostu roslyn u zakrytomu gruntі [Spectral optimization of LED phytolamps for plant growth regulation in closed soil]. *Inzheneriia ahrarnykh system. – Agricultural Systems Engineering*, 2(30), 41-48.
5. Sydorenko V., & Lytvynenko Yu. Porivnialnyi analiz spektralnykh kharakterystyk fitolamp i tradytsiinykh dzherel svitla v ahrarnomu vyrobnytstvi [Comparative analysis of spectral characteristics of phytolamps and traditional light sources in agricultural production]. *Svitlo v ahrosystemakh. – Light in Agricultural Systems*, 3(11), 27-34.
6. Ehleringer J., & Björkman O. (1997). Quantum yields for CO₂ uptake in C₃ and C₄ plants: dependence on temperature, CO₂, and O₂ concentration. *Plant Physiology*, 1(59), 86-90.
7. Murchie E., & Lawson T. (2013). Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*, 13(64), 3983-3998.
8. Sager J., & McFarlane J. (1989). Radiation and photosynthesis. *Plant Growth Chamber Handbook*. 1-29.
9. Havaux, M. (1992). Stress tolerance of photosystem II in vivo: Antagonistic effects of photo-damage and photoprotection due to carotenoids and epoxidation state of the xanthophyll cycle. *Planta*, 186(3), 450-460.
10. Diachenko I., & Romanenko L. (2023). Vplyv spektralnogo skladu svitla na fotosyntetychnu aktyvnist ta pihmentnu systemu Roslyn [The influence of the spectral composition of light on the photosynthetic activity and pigment system of plants]. *Fiziolohiia roslyn i klitynna biolohiia Plant. – Physiology and Cell Biology*, 2(16), 21-28.
11. Maxwell K., & Johnson G. (2000). Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51(345), 659-668.
12. Tyystjärvi E., & Herranen M. (2018). Blue light reduces photosynthetic efficiency of cyanobacteria through an imbalance between photosystems I and II. *Photosynthesis Research*, 138, 103-116.
13. Zhang C., & Porcar-Castell A. (2019). Do all chlorophyll fluorescence emission wavelengths capture the spring recovery of photosynthesis in boreal evergreen foliage?. *Plant, Cell & Environment*, 42, 2455-2469.
14. Mickens M., & Torralba M., (2017). Modeling light distribution within plant canopies using ray tracing and computational geometry techniques. *Frontiers in Plant Science*, 8, 805-917.

Отримано 22.07.2025

Vitaliy Mardzyavko¹, Andriy Rudenko²

¹Assistant Professor, Department of Electric Power, Electrical Engineering and Electromechanics
Mykolaiv National Agrarian University (Mykolaiv, Ukraine)

E-mail: vitalijmardzavko@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7327-9215>

²Assistant Professor, Department of Electric Power, Electrical Engineering and Electromechanics
Mykolaiv National Agrarian University (Mykolaiv, Ukraine)

E-mail: andrey0911r@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5103-6412>

RESEARCH OF THE SPECTRAL COMPOSITION OF LED PHYTOLAMPS TO INCREASE THE PRODUCTIVITY OF VEGETABLE CROPS IN CLOSED GROUND

In the current conditions of development of the agricultural sector of Ukraine, especially in the context of post-war recovery, the relevance of implementing highly efficient technologies for growing vegetable crops in closed soil is increasing. One of the key factors in successful greenhouse production is the rational use of artificial lighting, in particular LED phytolamps with variable spectral composition. The use of modern LED light sources allows increasing the efficiency of photosynthetic processes, activate plant growth and development, reduce energy consumption, and increase the profitability of greenhouse farming.

The aim of the article is to experimentally study the effect of the spectral composition of LED phytolamps (red, blue, IR, UV components) on the growth, physiological state, and yield of tomatoes and lettuce grown in protected soil.

The paper presents results of the comparison of four spectral lighting options using similar microclimate conditions, which allowed us to clearly trace the effect of each spectrum and their combinations. Data are provided on changes in plant height, leaf surface area, chlorophyll content, biomass mass, and yield for each option.

It has been shown for the first time that the combined use of red, blue, infrared, and ultraviolet radiation creates a synergistic effect that ensures balanced development of both vegetative and generative organs of vegetable crops. Statistical analysis of the results confirmed the reliability of the positive impact of the combined spectrum on key agronomic indicators.

The presented results can be used to improve methods for selecting LED lighting, designing adaptive spectrum management systems in greenhouses, and as a basis for further scientific research in the field of energy-efficient agricultural production.

Keywords: phytolamp; spectral composition; LED lighting; greenhouse production; photosynthesis; vegetable crops.

Fig.: 3. Table: 3. References 14.